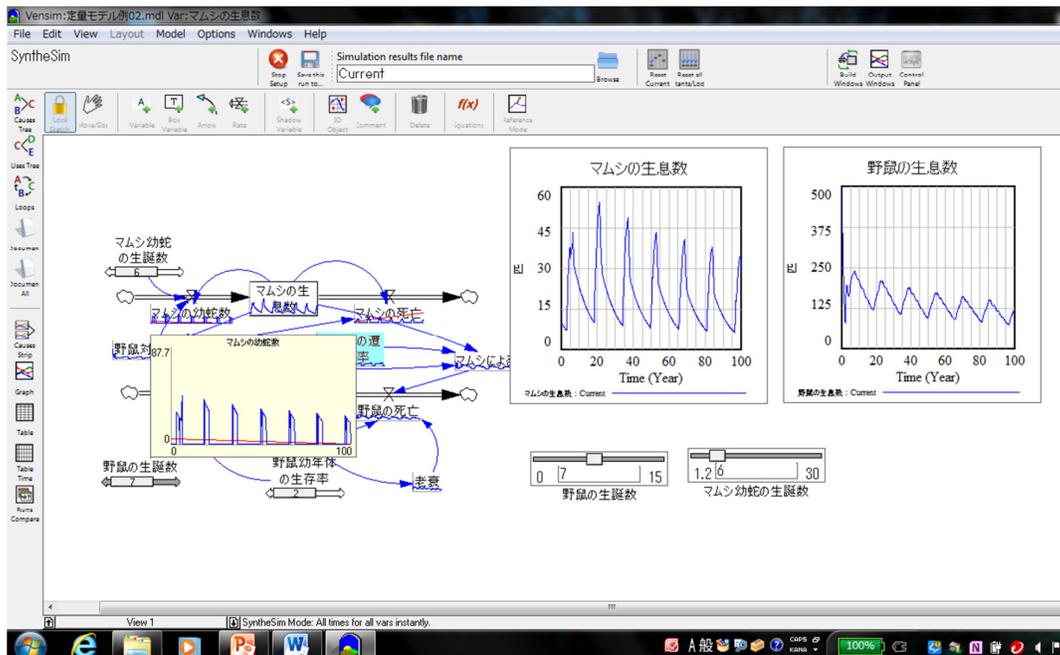


Vensim PLE入門



末武 透(日本未来研究センター)

(2007.3.31)

(2015.4.1)

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	5
2. Vensim PLE の画面	8
3. メイン・ツール・バー	11
4. モデル記述ツール	21
5. ステータス・バー	35
6. 分析ツール	41
7. 出力と印刷	49
8. 関数	52
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	57
10. 定量モデル構築と定量分析	63
11. 参考資料	83
かこみ記事：見やすさは分かりやすさ	55
システム思考に対する誤解	62
経営フライト・シミュレーター	82

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。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・フォレストラ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、ビデオ教材開発する予定です。すでに自習用パワーポイントは開発されています。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 による SD 入門」が発表されています。

「Vensim PLE による SD 入門」だけではなく、他のシステム思考やシステム・ダイナミクスの教科書を使っての、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も実施しています。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。

(2007 年 3 月 31 日記)

その後、Vensim PLE は 6.3 に改定され、表示画面が大幅に変わったので、それに合わせて、記載中の画面表示や日本語表記方法の記述を変えました。MS-Window 7 及び 8.1 に対応しています。

(2015 年 4 月 1 日記)

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。

「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

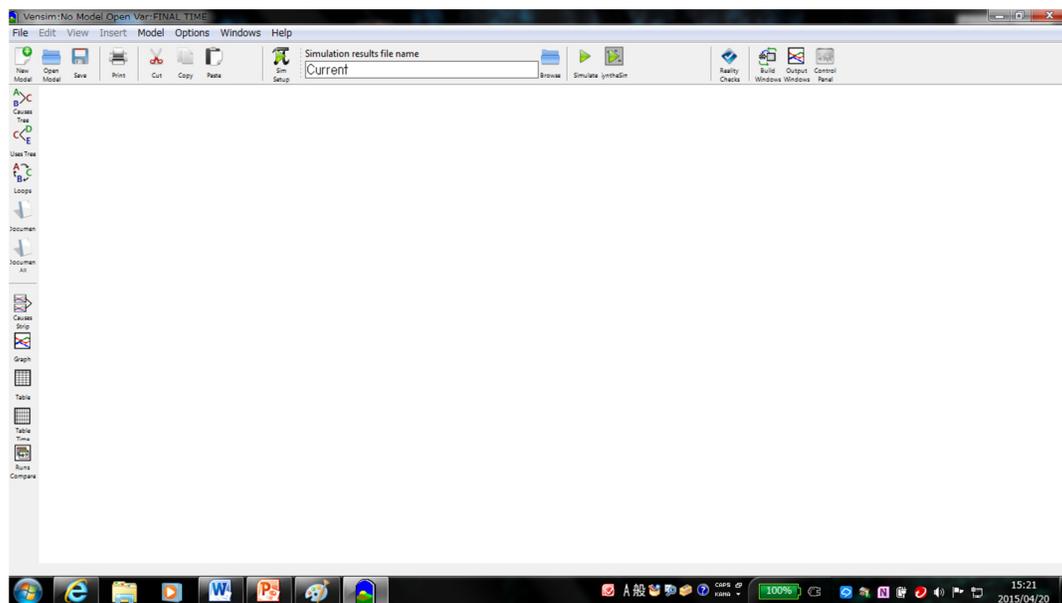
Vensim PLE そのものは、<http://vensim.com/free-download/> (2015 年 4 月 1 日時点)の申し込み画面に記載すると、Ventana 社から、ダウンロードへのリンクが電子メールで案内されてきます。ただし、ダウンロードし、インストールしても、そのままではメニューは英語環境なので、メニューを日本語に変えたい場合は以下の操作を実施して下さい。メニューが英語環境でもいいというユーザーは、この作業を実施する必要はありません。メニューが英語環境のままでも、Vensim PLE Version 6.3 では、モデルの変数名やコメントに日本語や全角文字を使用することができます。

以下、日本語版環境の設定手順です。

ダウンロードした Vensim PLE をインストールの際に、自動的にアイコンがデスクトップに作成されます。あるいは、基底メニューに組み込む、スタート・メニューに組み込むなどが可能です。以下の手順で日本語環境に変えます。ただし、日本語環境に変えると、英語版では表示されているモデル記述バーにあるボタンの添え字が消え、イメージだけになってしまいます。英語環境でも、変数名に日本語は使えますので、英語が全く分からない人は別として、特に英語環境でも不便はないと思います。

ステップ 1 : Vensim PLE を立ち上げる

Vensim PLEの立ち上げ



ステップ 2 : メニュー・バーの「Option」から「Language」を選ぶ

ステップ 3 : 「Japanese」を選択する

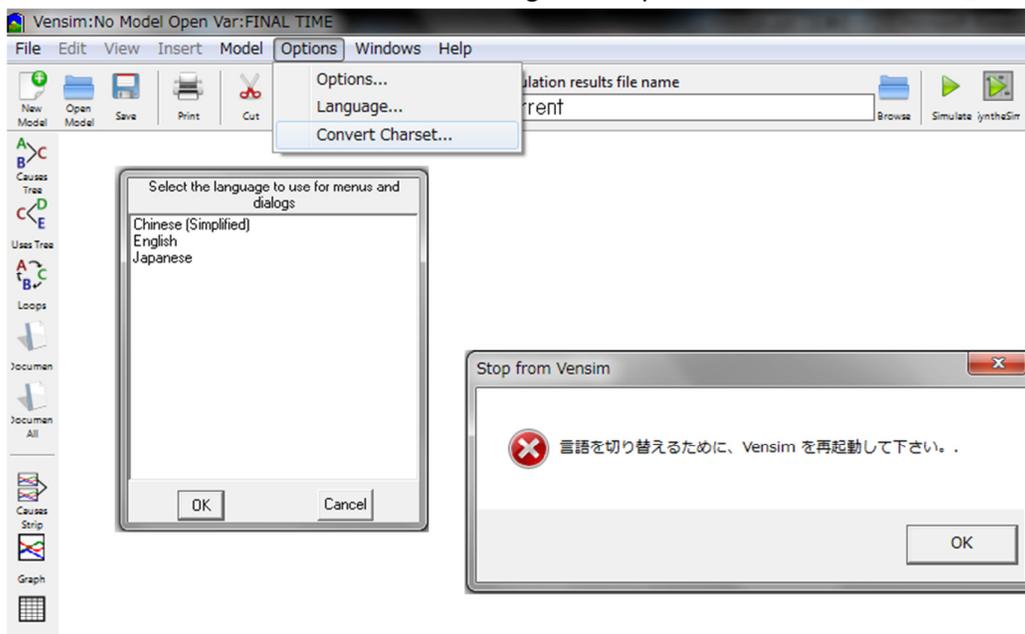
ステップ 4 : 「You must exit vensim and start it again to update all menus」に対して「OK」を選択する

ステップ 5 : 一旦 Vensim PLE を終了する

メニューで「Option」→「Language(L)」

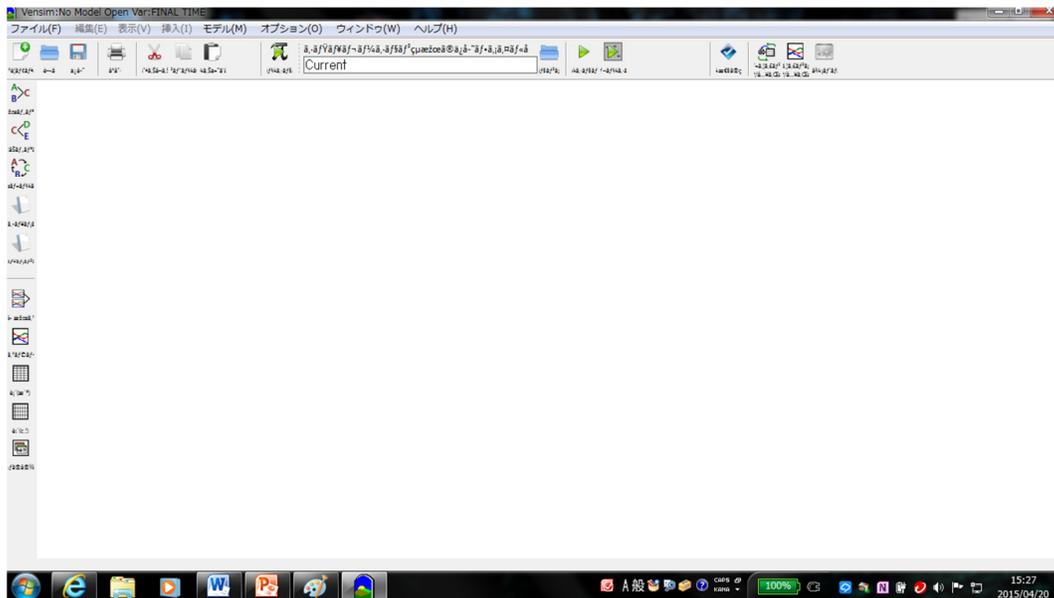
「Select the language to use for menus and dialogs」→「Japanese」を選択

「You must exit Vensim and start it again to update all menus」→「OK」

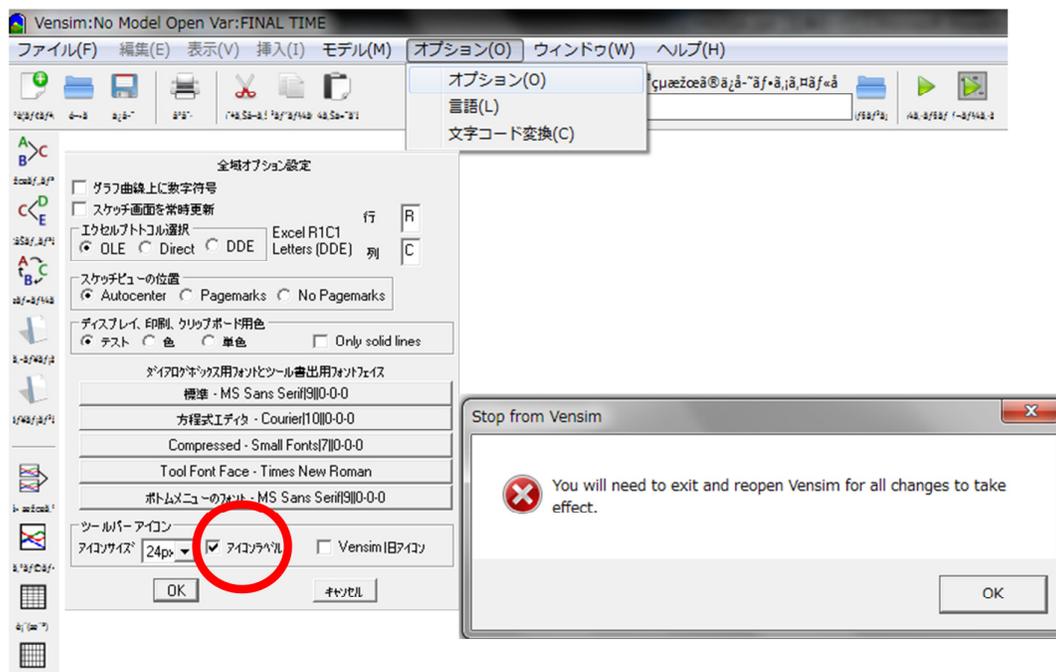


一旦Vensim PLEを終了させます。

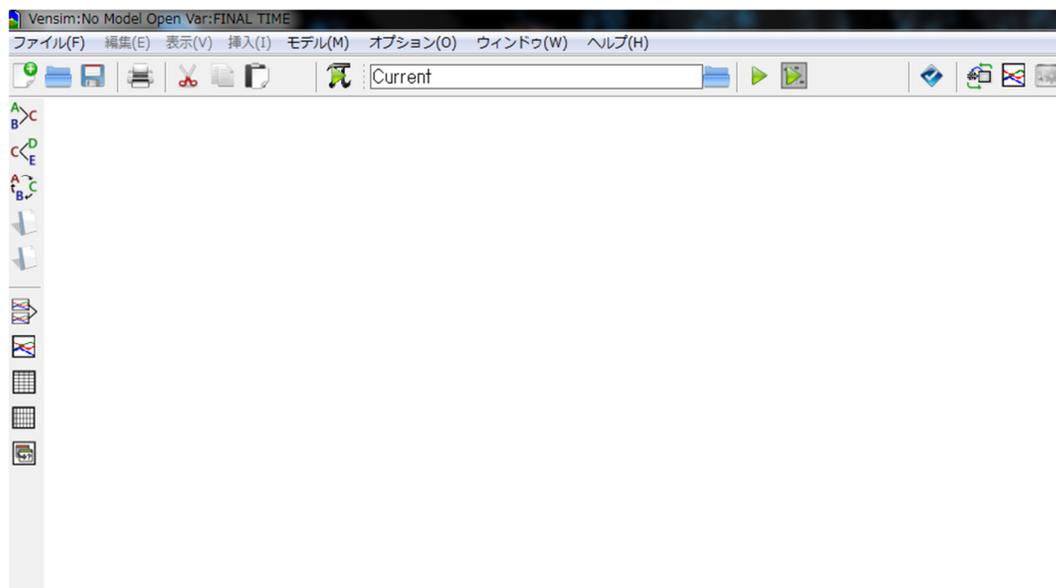
ステップ 6: 再度 Vensim PLE を起動します。メニューは日本語に変わっていますが、モデル作成ツール・バーや分析ツール・バーのボタンアイコンの添え字が文字化けしています。



ステップ 7: メニュー・バーの「オプション」から「オプション(O)」を選び、表示された「全域オプション設定」画面の下にある、「アイコンラベル」のチェックを外し、「OK」を選びます。「You will need to exit and reopen Vensim for all changes to take effect」に対し「OK」を選び、Vensim PLE を終了させます。



ステップ 8: 再度 Vensim PLE を立ち上げる



2. Vensim PLE の画面

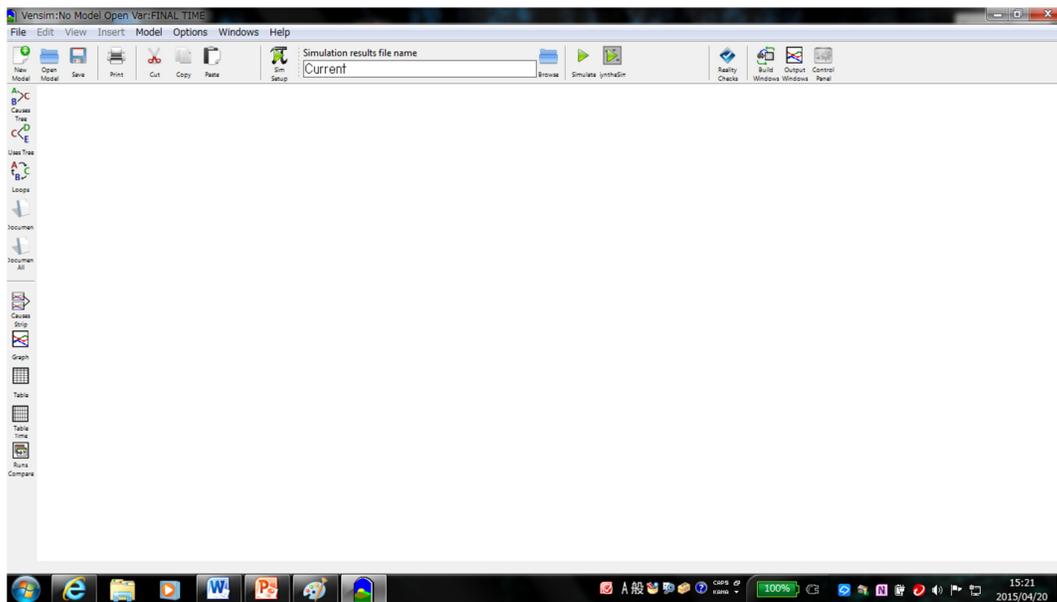


図 2-1 : Vensim PLE 初期画面

Vensim PLE を開くと、図 2-1 のような画面が最初に現れます。既にモデルを前に作成していれば、最近作成したモデルが表示されます。新規モデル作成ボタンを選択すると、図 2-X のような、シミュレーション条件設定画面が表示されます。この画面で OK にすると、図 2-2 に示したような、モデル構築可能画面に切り替わります。違いは、図 2-1 には表示されていないが、④モデル記述ツール・バーと、⑤ステータス・バーが新たに表示される点です。

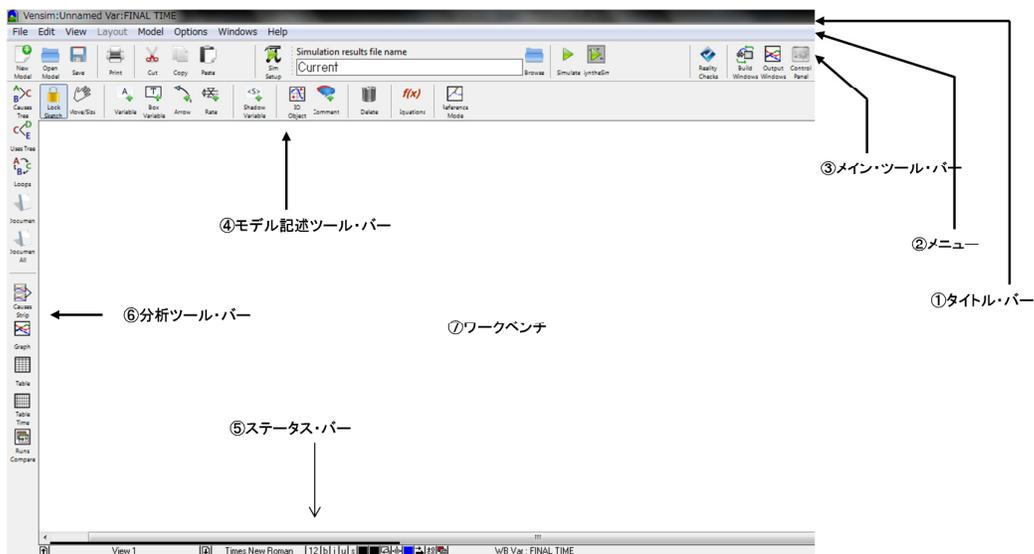
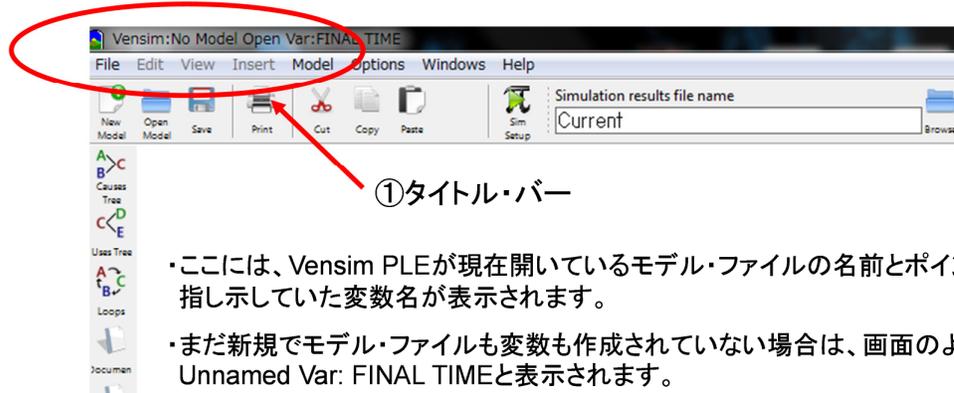


図 2-2 : Vensim PLE の画面のツール・バー

この画面になって初めて、⑦ワークベンチ上でモデルを作成することが可能になります。

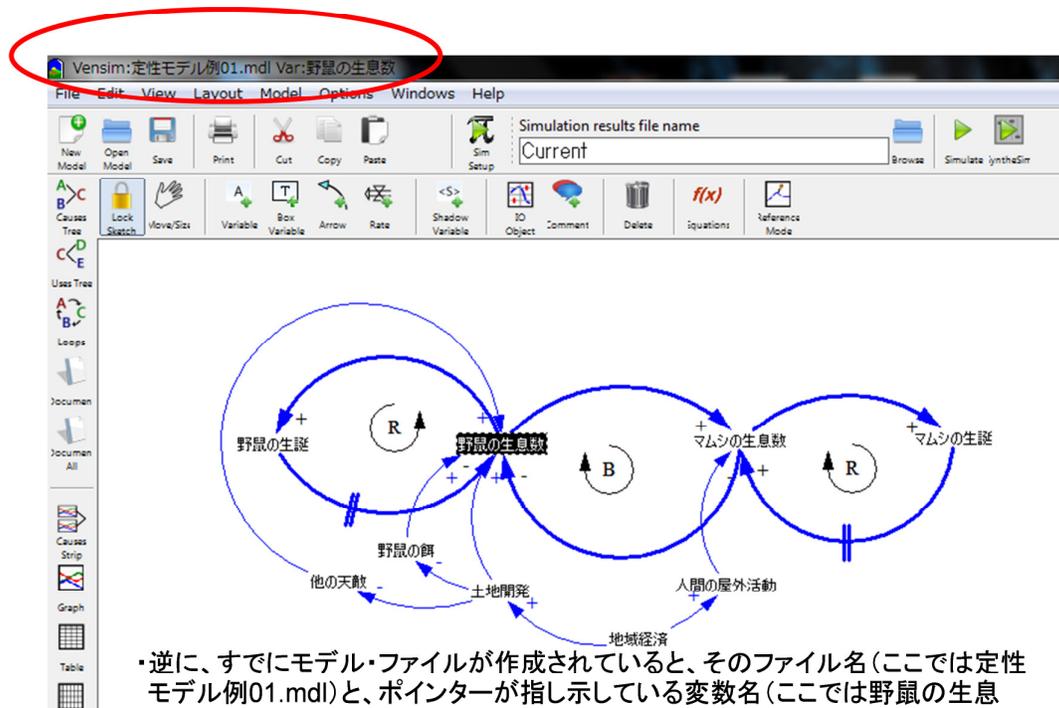
①タイトル・バー :

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と、ポインターで指示したパラメーター名が表示されます。



①タイトル・バー

- ・ここには、Vensim PLEが現在開いているモデル・ファイルの名前とポインターが指し示していた変数名が表示されます。
- ・まだ新規でモデル・ファイルも変数も作成されていない場合は、画面のように Unnamed Var: FINAL TIMEと表示されます。



- ・逆に、すでにモデル・ファイルが作成されていると、そのファイル名(ここでは定性モデル例01.mdl)と、ポインターが指し示している変数名(ここでは野鼠の生息数)が表示されます。

図 2-3 : タイトル・バー

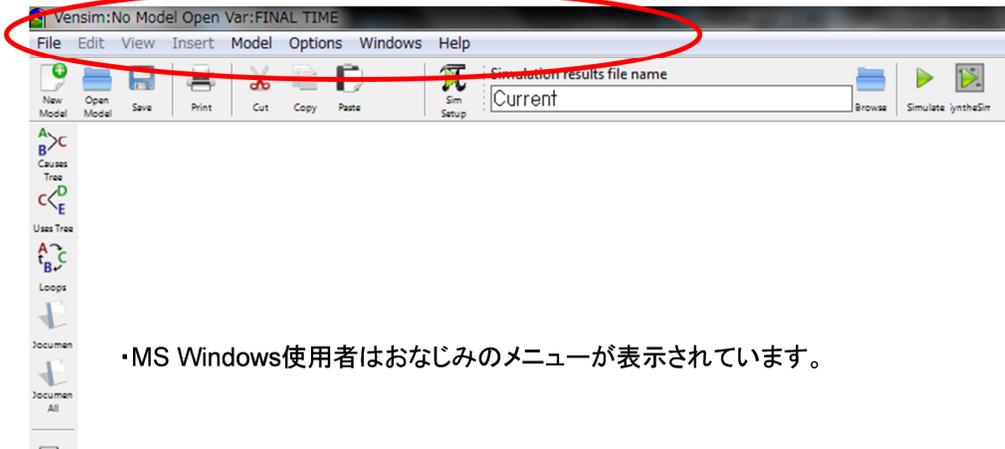
②メニュー :

二段目は MS ウィンドー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。

②メニュー



・MS Windows使用者はおなじみのメニューが表示されています。

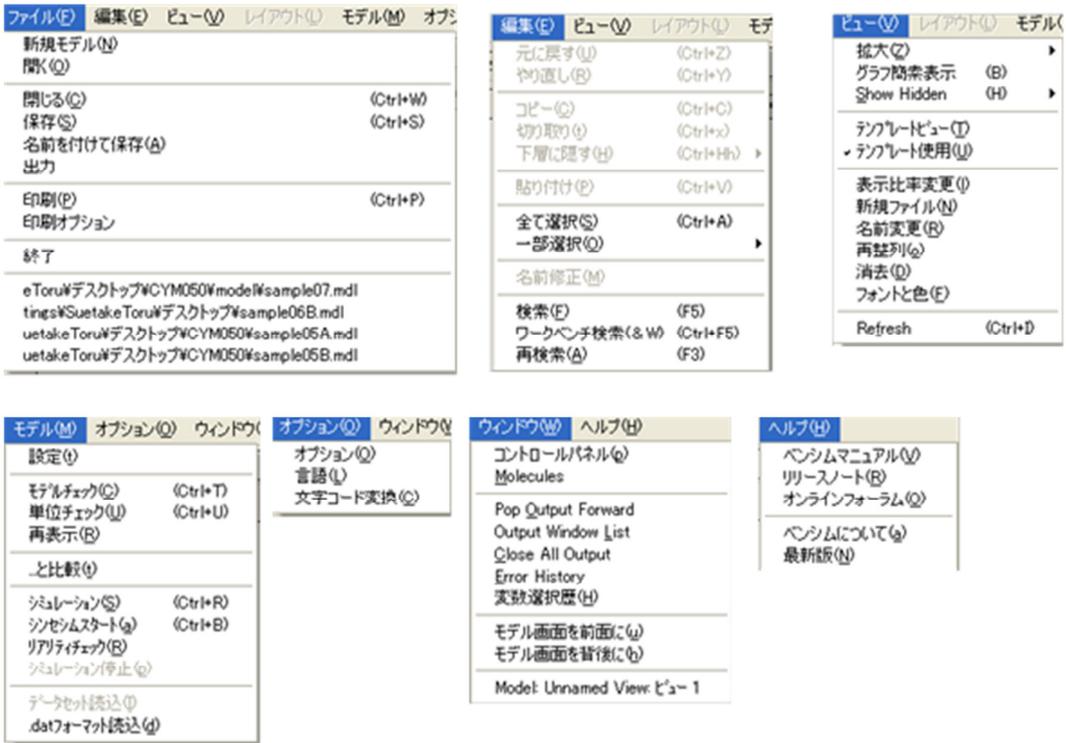


図 2-3:メニュー・バー一覧 (「レイアウト(L)」を除く)

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。

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。

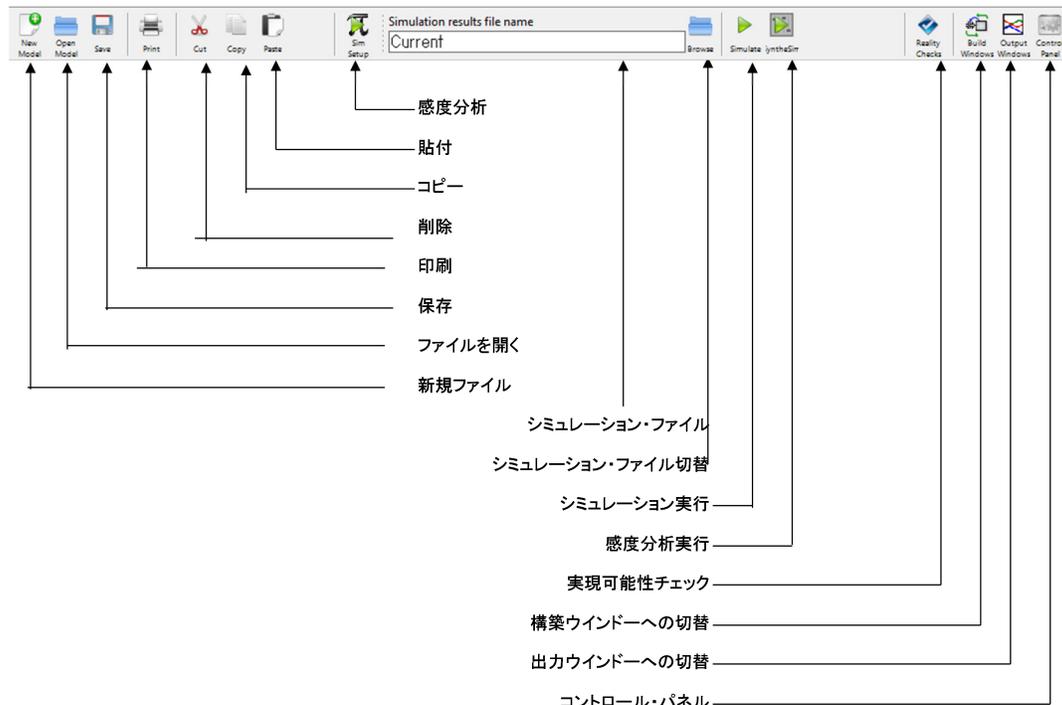


図 3-1：メイン・ツール・バー



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 3-2 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。

図 3-2 のシミュレーション実行条件設定画面では、シミュレーション開始時間、終了時間、時間刻み、時間単位、計算方法が指定できます。シミュレーション計算の時間刻みでは、1、0.5、0.25、0.125、0.0625、0.03125、0.015625、0.078125 が指定できます。ただ、この時間刻みに関し、細かくすればするほど、計算の誤差は小さくなりますが、モデルが大きい場合は計算時間がかかります。

時間単位では、年、季、月、週、時、分、秒などが選択できます。時間でシミュレーションしない場合、新しい単位を作成することもできます。

計算方法では、オイラー法とルンゲ・クッター4階法が選択できます。オイラー法は時間刻みを細かくすると、モデルが大きい場合、とたんに計算時間がかかるようになります。ただし、離散系と呼ばれる、数値が整数値しかとらないような場合は、オイラー法の方が適していて、ルンゲ・クッター法の方が、計算誤差が大きくなります。通常はオイラー法を選択して下さい。

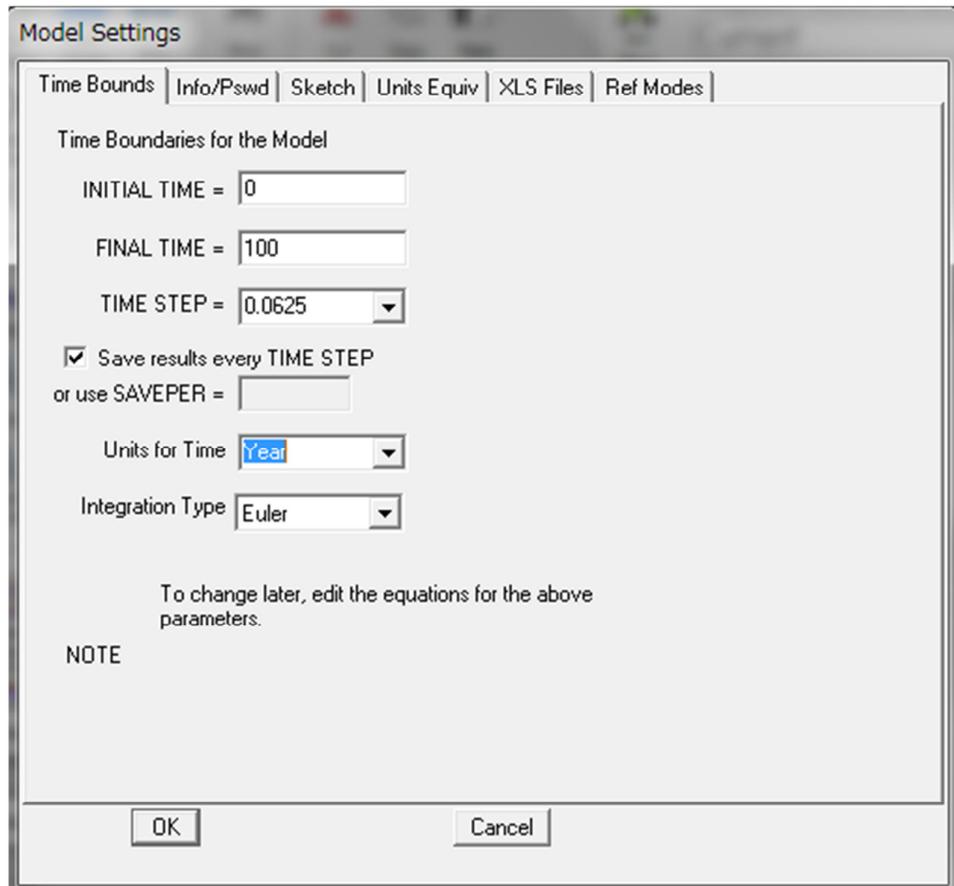
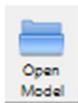
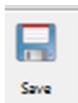


図 3-2 : シミュレーション条件の設定



Open Model 既存モデルの呼び出し(Open Model)
既存のモデルを呼び出す際に使う機能です。



Save モデルを保存します。新規の場合は、モデル名指定画面が表示され、すでに作成されている場合は、上書き保存されます。



Print モデルを印刷します。モデルが大きい場合は、縮小をすることで全体を印刷できます。



Cut モデル上のパラメーターを除去します。消去するか、それとも消去をストップするかを尋ねてきます。消去対象のパラメーターは黒反転します。また、タイトル・バーにも、選択したパラメーター名が表示されます。パラメーターの黒反転は、他にポインターを移動した際には消えますので、どのパラメーターを選んでいるのかは、タイトル・バーの表示で確認して下さい。

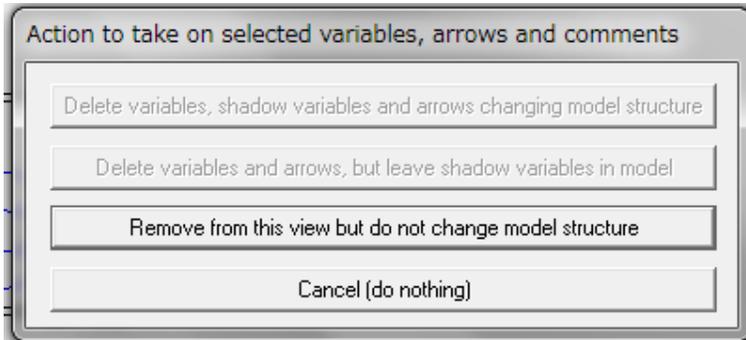
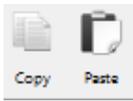


図 3-3 : 消去確認画面



Copy Paste コピー (Copy) は貼付 (Paste) と対で使います。モデル上のパラメーターを複製します。Copy を選び、パラメーターを選択し、Paste を選ぶと、パラメーター名に 0 が付いた名称で複製されます。コピーを数回行う場合は、00,000 とゼロの数が増えていきます。シフトキーを押すことで、パラメーターを複数選択できます。コピーが、オリジナルの上に乗ってできますので、移動します。

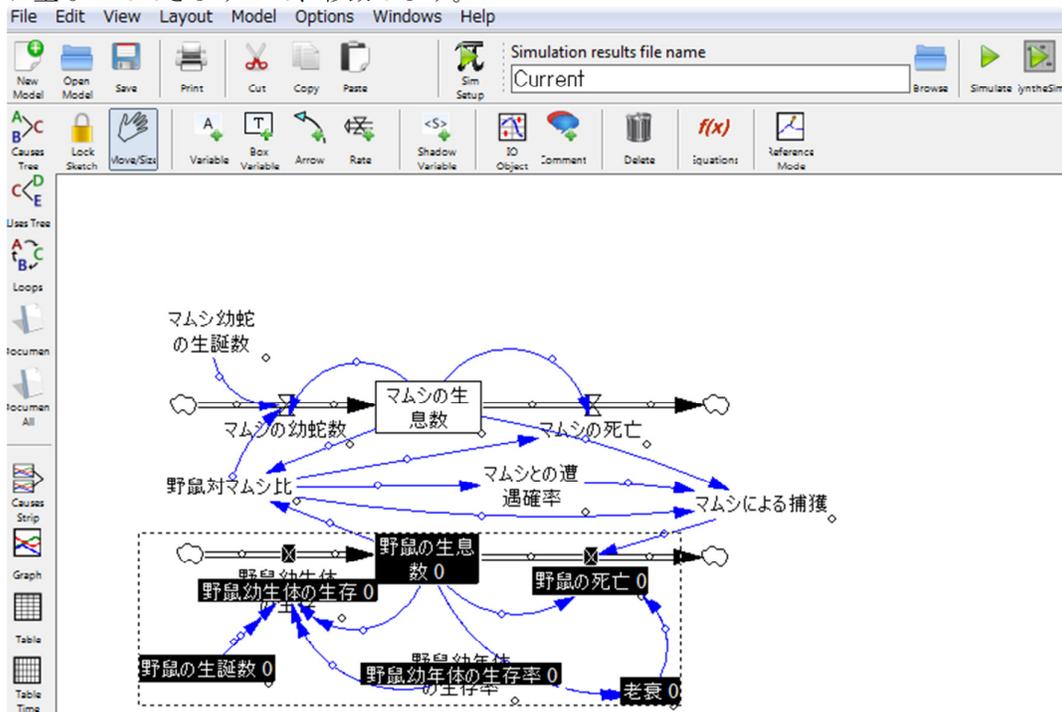


図 3-4 : コピーと貼付



感度分析のセット：Sim Setup は、感度分析を行う機能です。SyntheSim とセットで使います。この機能を使い、簡易的なリアルタイム・シミュレーションを実行できます。モデルのすべてのパラメーターの値を、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 ソフトに固有の技術です。

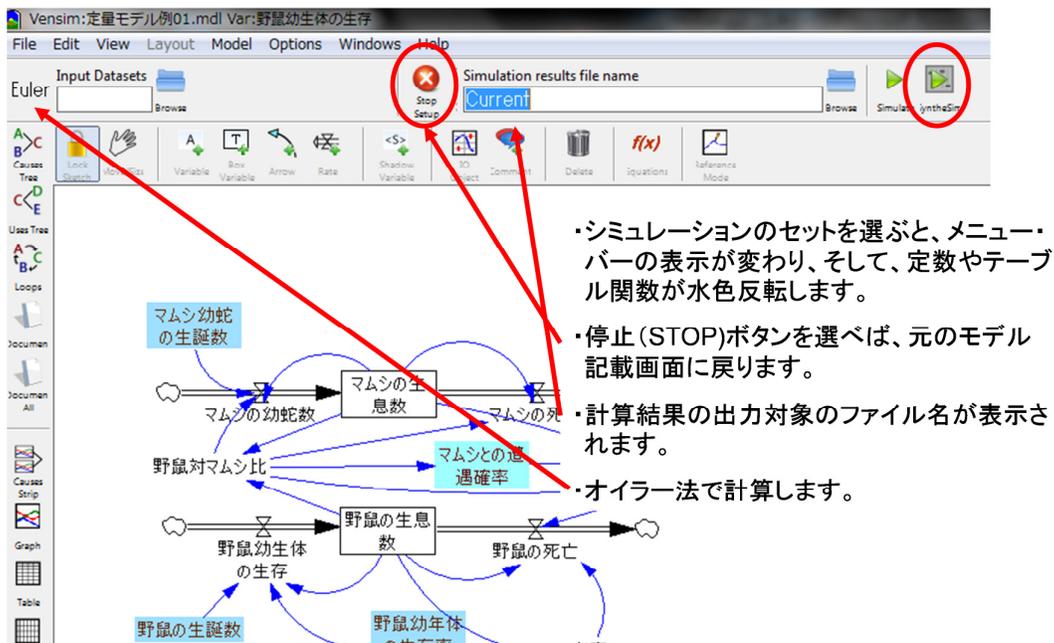


図 3-5：感度分析

Sim Setup を押すと、メニュー・バーの表示が Stop Setup に変わり、そして、定数やテーブル関数が水色反転します。停止 (Stop Setup) ボタンを選べば、元のモデル記載画面に戻ります。

SyntheSim を押すと、変更可能な入力パラメーターがスライドバーに変わります。ポインターを使ってスライスすることで値を自由に変えられます。シミュレーション結果は、リアルタイムで出力パラメーターの上に小さなグラフで表示されます。こうして、入力値の違いでシミュレーション結果がどう違ってくるかをチェックできます。グラフの上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。また、分析ツールの直接関連グラフやグラフを使って、複数の因子を表示することやグラフを大きく表示させることもできます。変更した値を元に戻したい場合は、Reset Current、Reset All Tans/loc を使って初期値に戻せます。

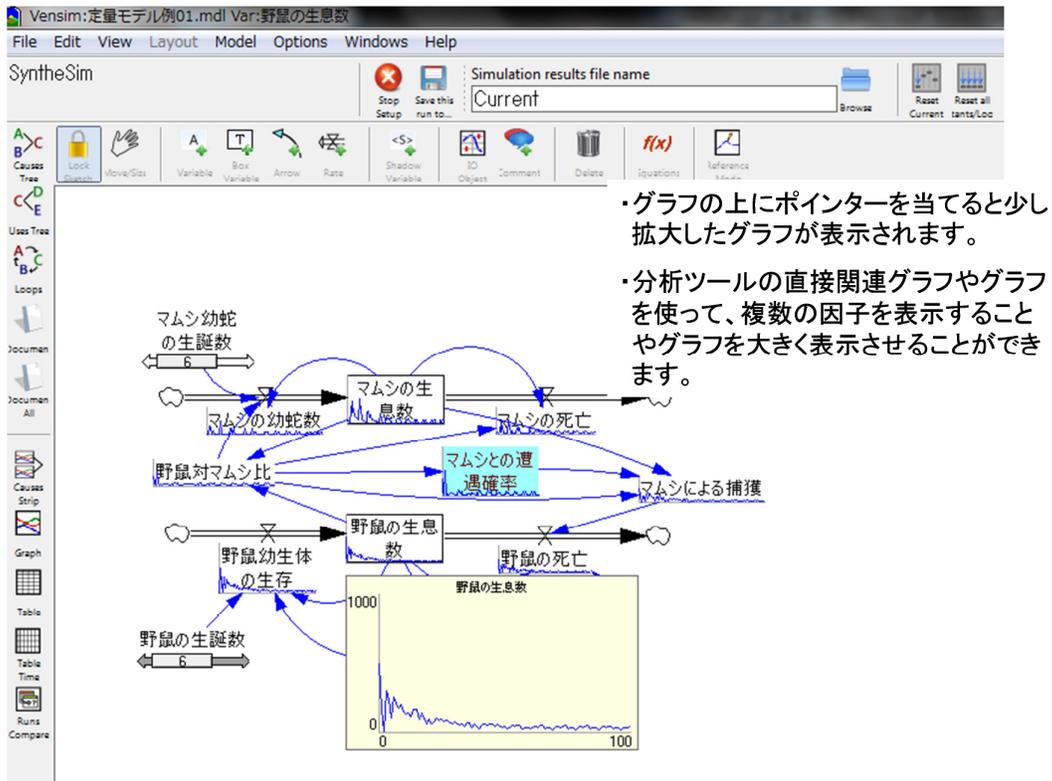


図 3-6：感度分析

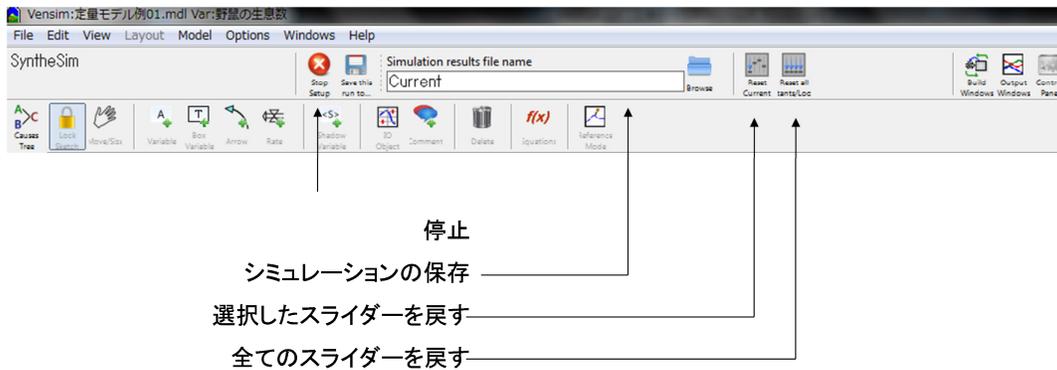


図 3-7：感度分析

Simulate シミュレーションの実行： 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、パラメーター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。ただ、この方式では、バッチ方式でシミュレーションが実施されるので、結果を表示させるためには、シミュレーション終了後、分析ツールを使っ

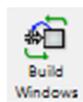
て、グラフや表として表示する必要があります。



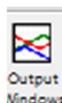
シミュレーション・ファイル：シミュレーション・ファイルのウインドーに、シミュレーション実行ファイル名が表示されます。ウインドーの横の **Browse** を選べば、切り替えたいシミュレーション・ファイル名を選択できます。また、新しいファイル名をここに記載することで、シミュレーション結果をそのファイル名で記録できます。同じモデルで、ただパラメーターに設定した値だけを違えて、その結果を保存したい場合などでは、モデルの名称を変えることなく、シミュレーション結果だけをファイルとして保存できます。



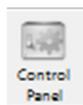
実現可能性チェック：モデルが実現性のある有用なものとなるような条件式を考え、それらの実現可能性を自動的にテストします。このチェックなしで動作するモデルであっても、途中で変数値がマイナスとなったり意味の無い極大値や極小値になり、現実的には実現不可能となる場合があります。これらを排除する条件式を定義して、その実現可能性を確認する際に用います。



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できます。

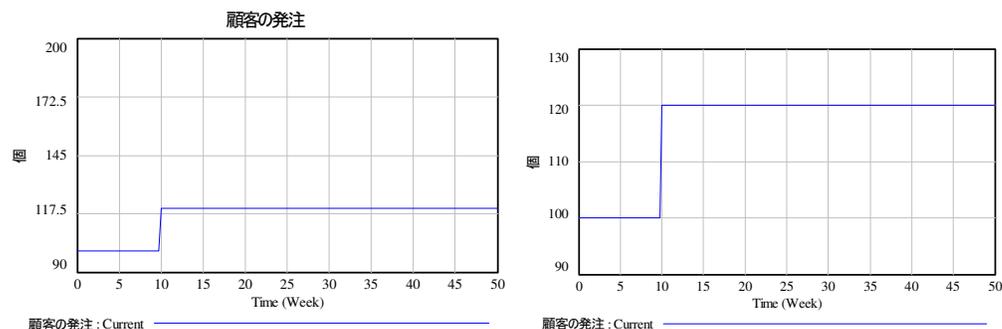


図 3-8：コントロール・パネルを使った表示の整理

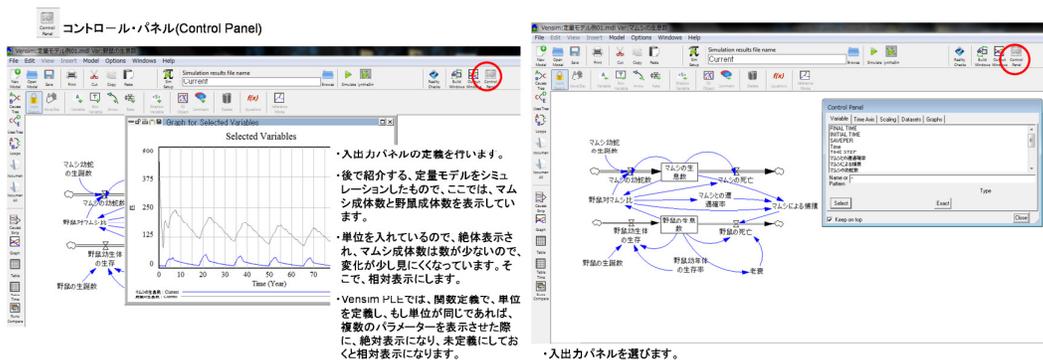


図 3-9 : コントロール・パネルを使った表示の整理

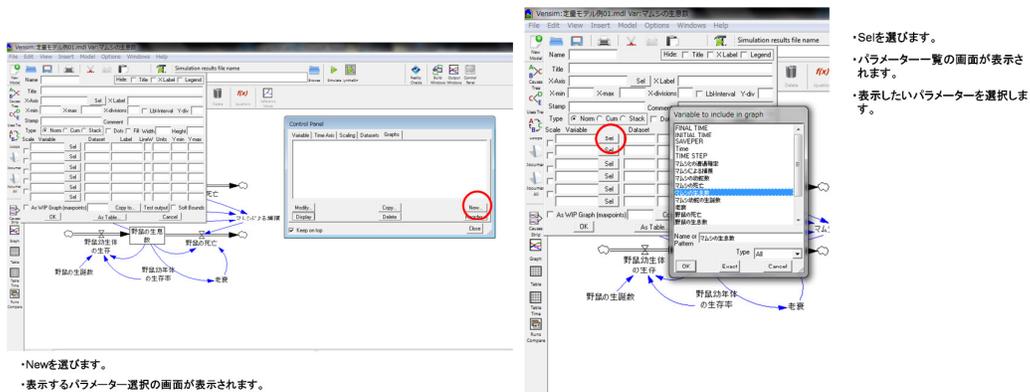


図 3-10 : コントロール・パネルを使った表示の整理

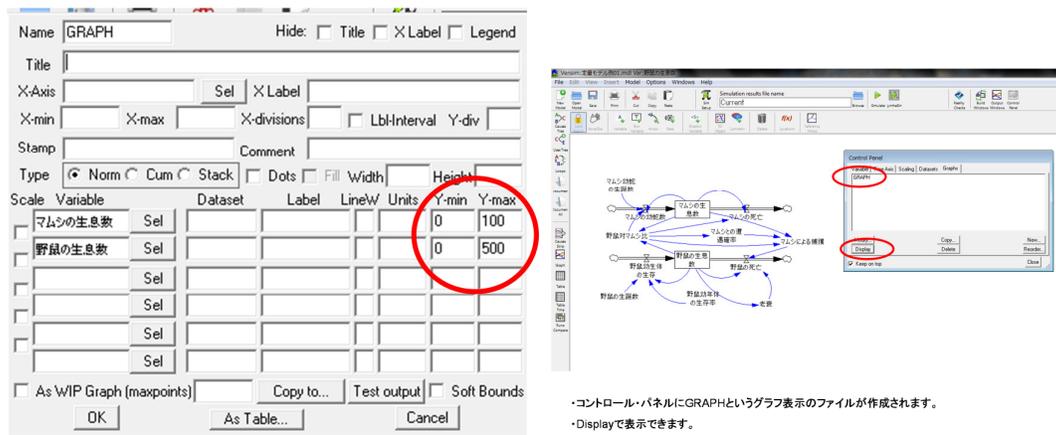


図 3-11 : コントロール・パネルを使った表示の整理

Vensim PLE のグラフの自動表示では、時として、あまり見やすすくないことが起きます。図 3-8 は 2 つとも同じものを表示しています。この 2 つのグラフで、どちらが見やすいと思いますか？私としては、右の方が見やすいと思います。こういった、表示方法、ここでは Y 軸の最少値と最大値を指定して、グラフを見やすくすることがこの機能で可能です。

Vensim PLE では、関数定義で、単位を定義し、もし単位が同じであれば、複数のパラメータを表示させた際に、絶対表示になり、未定義にしておくとも相対表示になります。絶対表示では、変化が小さいものや値が小さいものと、変化が大きいもの、値が大きいもの

とを絶対表示させると、変化を比較したい場合には見にくくなります。これを防ぎ、相対表示させたい場合は、単位を未定義にする方法もありますが、このコントロール・パネル機能を使って、相対表示させることも可能です。

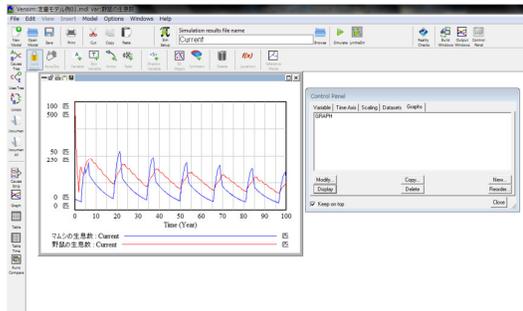


図 3-12：コントロール・パネルを使った表示の整理

図 3-9 では、後の第 2 部で説明する野鼠のモデルで、野鼠成体とマムシ成体を表示させています。関数定義で単位を指定していて、共に単位は「匹」なので、絶対表示されています。マムシ成体は野鼠成体に比べ数が少ないので、変化が少し見にくくなっています。これを、相対表示で変化の幅を合わせて表示することを考えます。入出力パネルを選びます。Graph を選び、New を選ぶと、表示するパラメーター選択の画面が表示されます。Sel を選ぶと、パラメーター一覧の画面が表示されます。表示したいパラメーターを選択し、それぞれの表示したい Y 軸の上限値、下限値を入力します。コントロール・パネルに GRAPH というグラフ表示のファイルが作成されます。Display で表示できます。

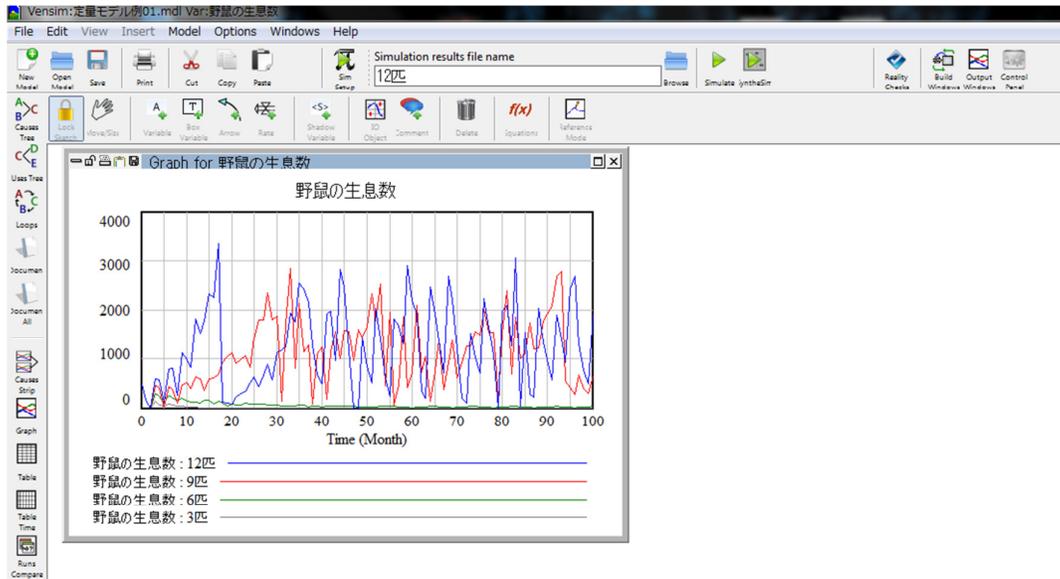


図 3-13：コントロール・パネルを使った表示の整理

図 3-13 では、いくつもの条件を変えてシミュレーションした状況を考えます。何もしないと、条件を変えて行ったシミュレーション結果が全て表示されてしまいます。これでは煩雑で、シミュレーション結果がよく分かりません。そこで、少し表示させるものを整理します。図 3-13 では、一つのパラメーターしか選択していませんが、今までいろいろ条件を行ってシミュレーションした 4 つも条件が違うシミュレーション結果が表示されています。

そこで、これを整理します。コントロール・パネル(Control Panel)を選ぶと、作業画面が現れます。ここで Datasets を選びます。そして、<<で表示させたいもの、例えば、この例では、6 匹を Available Info に移動します。間違った場合は、>>で Loaded Info に戻せます。

次に、Graph を選び、New を選びます。すでに実施していて、既存のものがある場合は Modify を選びます。DataSet の画面が表示されるので、Sel で表示したい変数を選びます。Display を選ぶとグラフが表示されます。

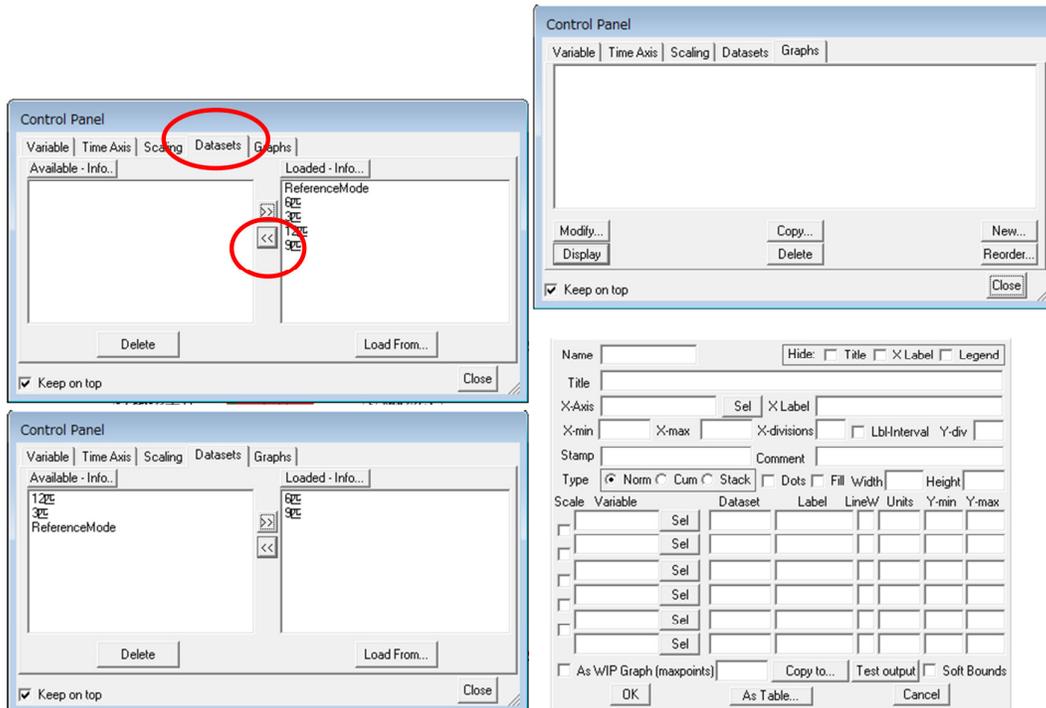


図 3-14 : コントロール・パネルを使った表示の整理

表示したいものだけを選択する (左)。さらに、表示したいパラメーターを選択する (右)

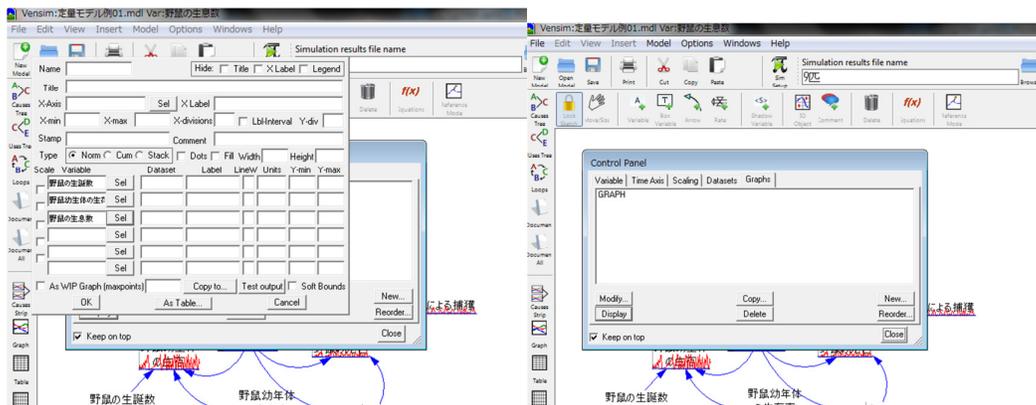


図 3-15 : コントロール・パネルを使った表示の整理

表示したいパラメーターの選択 (左)、と表示方法の指定で、この場合はグラフ (右)

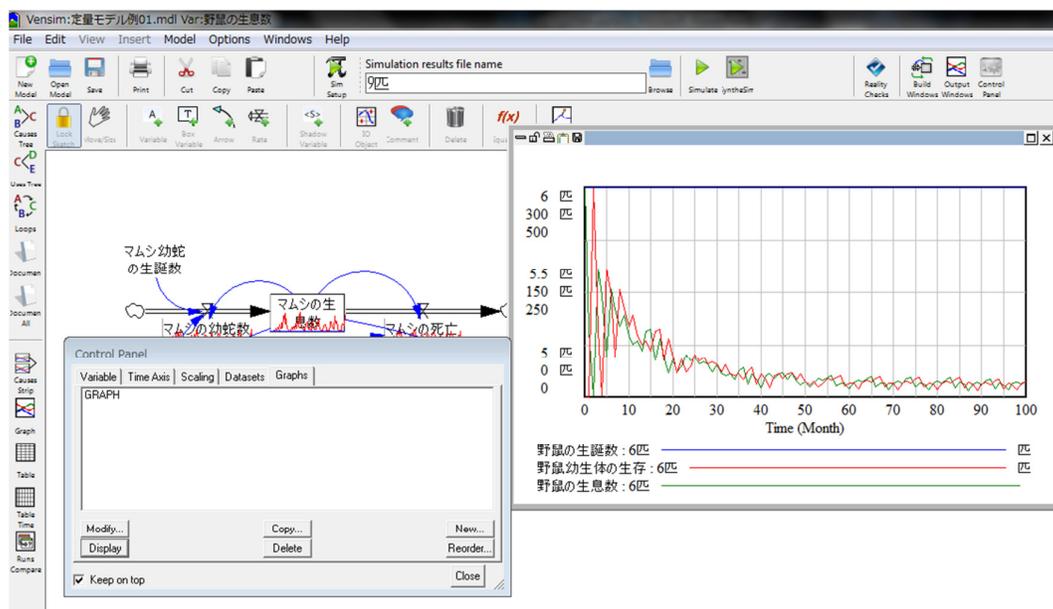


図 3-11：コントロール・パネルを使った表示の整理

結果はこのようになり。前と比べすっきりしています。

他にも、入力をパネルに変更したり、範囲を変えたりすることができます。

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。ここには、モデルを記述する際に使うツールが並んでいます。

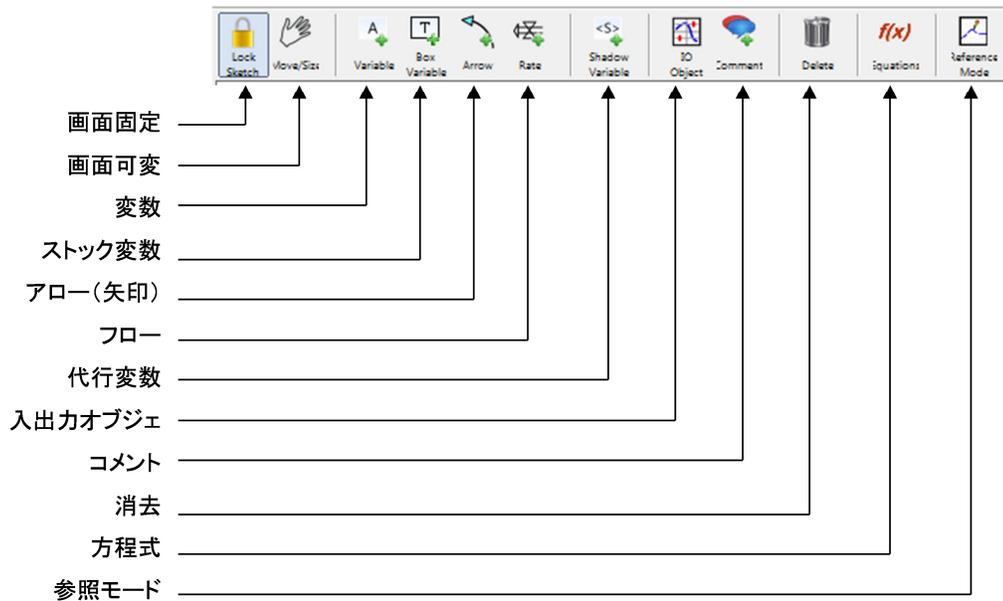


図 4-1：モデル記述ツール・バー



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。この固定モードでも、ファイルの保存や印刷、MS-Office のワード、パワーポイントなどへのコピーと貼り付けは可能です。



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。矢印の中央や変数の右下に小さな丸がありますが、これがハンドルで、これをポインターで操作することで曲率や変数の字間などを調整できます。



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 4-2 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 4-2 : 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、矢印の先端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。極性を矢印の先端に指定する作業は、「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。

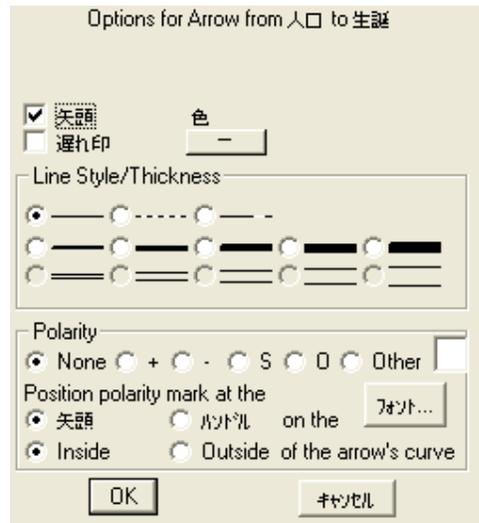


図 4-3 : 矢印設定ツール画面



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。大きなモデルでは、モジュールでモデルが作成されます。そして、View を違えて構築されます。このような場合、View が違う場所にあるモジュールの間をこの代行変数で繋げます。



入出力オブジェクト：パラメーター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。この機能を使って、経営フライト・シミュレーターを作成することができます。

以下にそのやり方を示しています。

入出力オブジェ

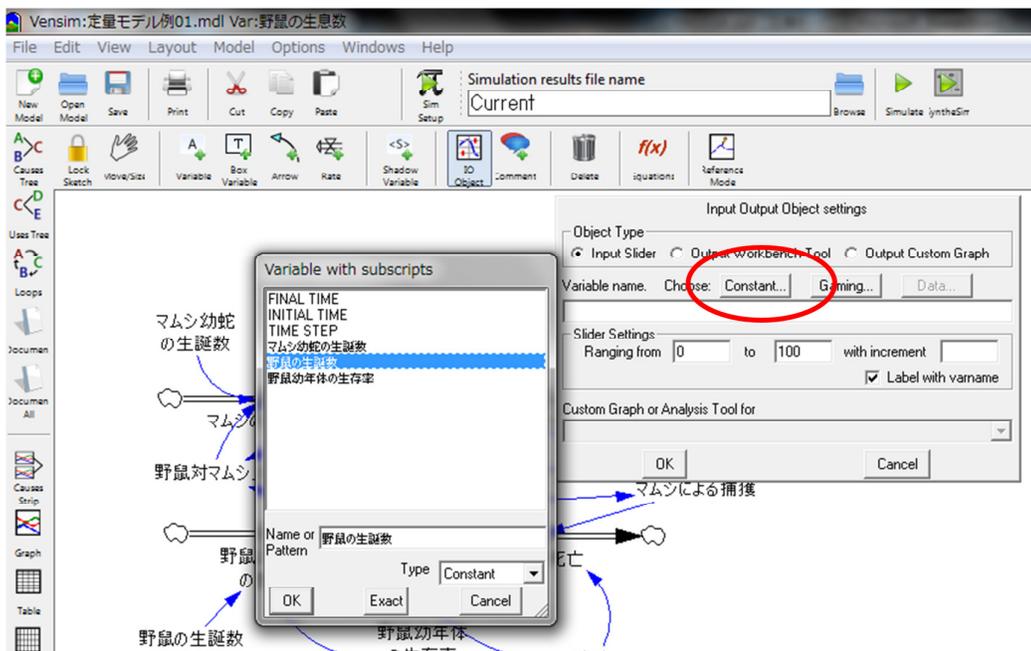
・入出力のバーやグラフ形式を設定するアイコンで、入力ではスライダーを設定できます。

・定数にポインターを当て、左クリックをすると入出力オブジェ定義画面が現れます。Input Sliderにマークし、Variable nameに適切な名前を付け、スライダーの移動範囲を定義し、「OK」を選べば、スライダーが作成されます。

・この機能を使い、経営フライトシミュレーターを作成できます。

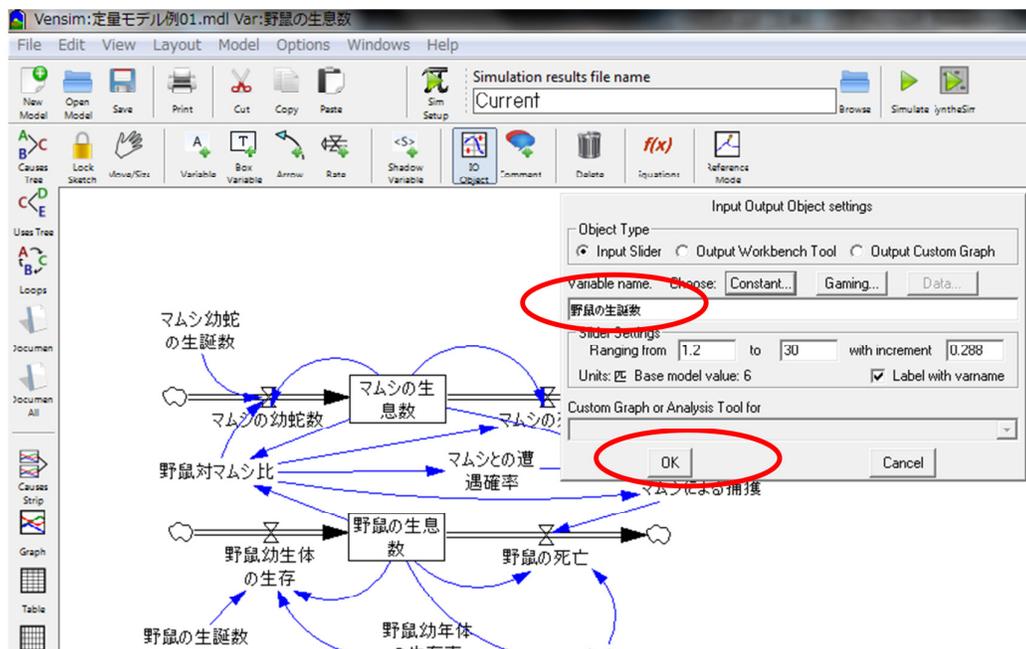
図 4-4 : 入出力オブジェクト

図 4-5 : 入出力オブジェクト



定数を選ぶと、選択できる定数の一覧が表示されます。

図 4-6 : 入出力オブジェクト



OKを選ぶと、スライダーが表示されます。

図 4-7 : 入出力オブジェクト

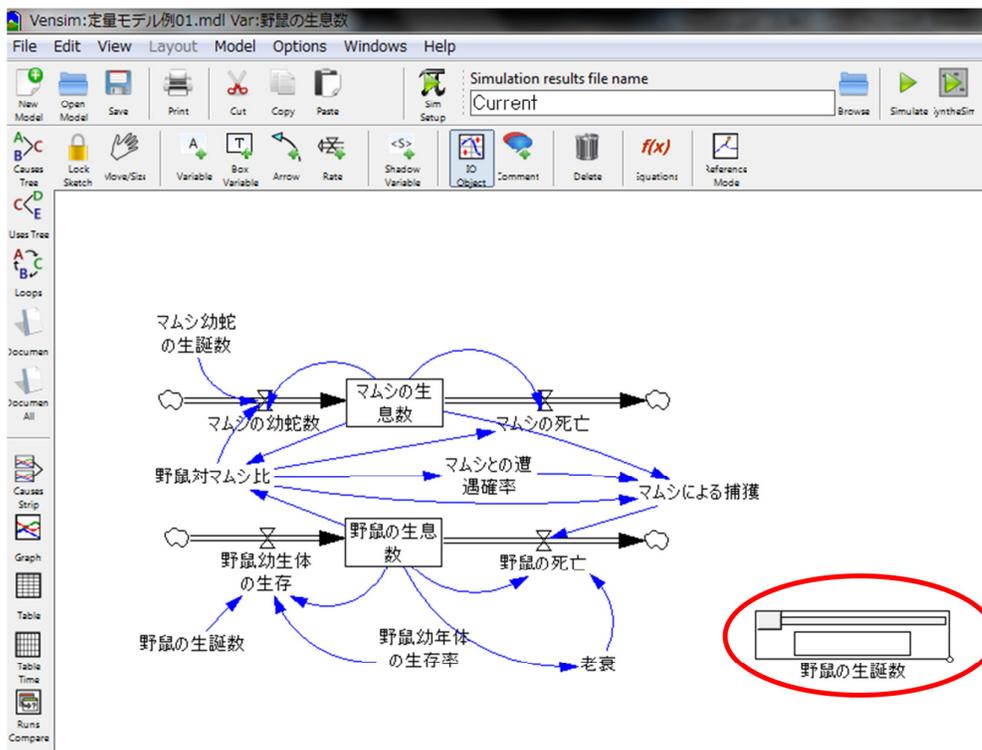
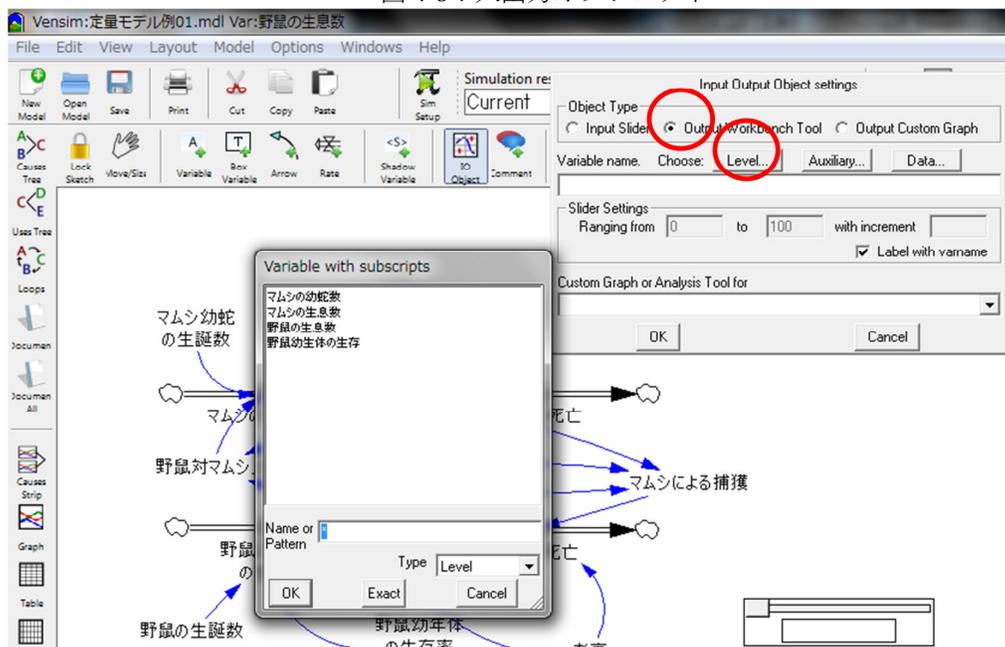
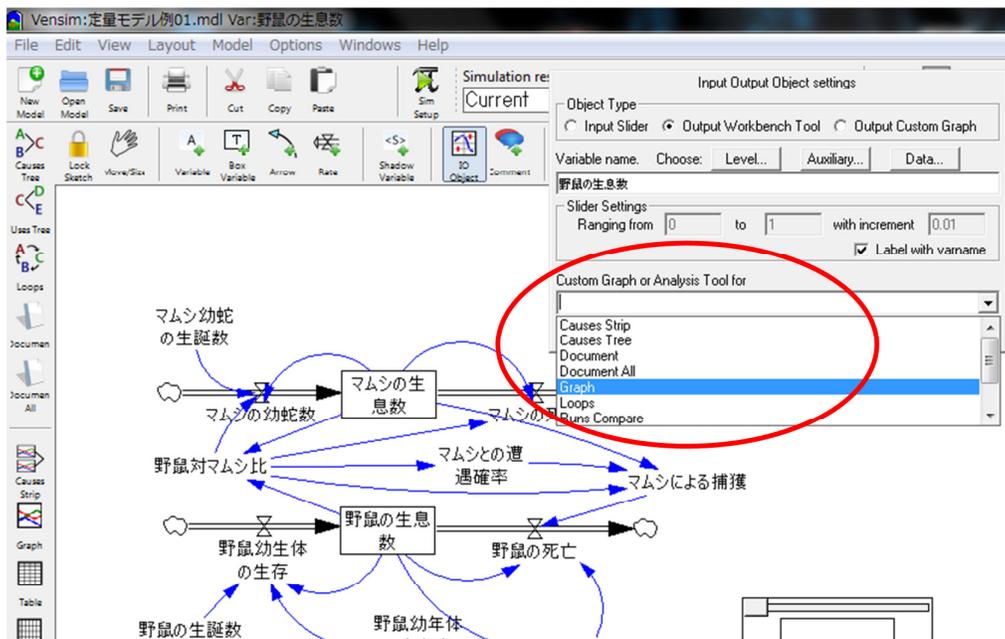


図 4-8 : 入出力オブジェクト



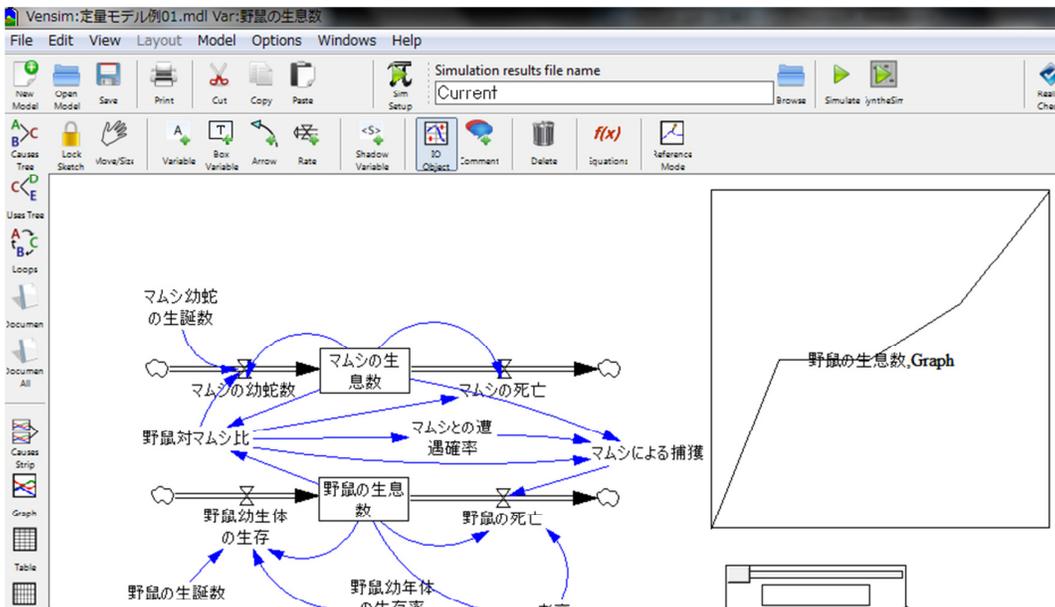
- 結果をグラフ表示させるために、Output Workbench Toolを選び、ここではストック (Level)を選んであります。ストックの一覧表が表示されます。
- 変数 (Auxiliary)を選べば、フローと変数を選択できます。

図 4-9 : 入出力オブジェクト



・Custom Graph or Analysis Tool forで、結果の出力方法を指定します。ここではグラフ表示を選んでいきます。

図 4-10：入出力オブジェクト



・グラフ表示されるスペースが表示されます。

図 4-11：入出力オブジェクト

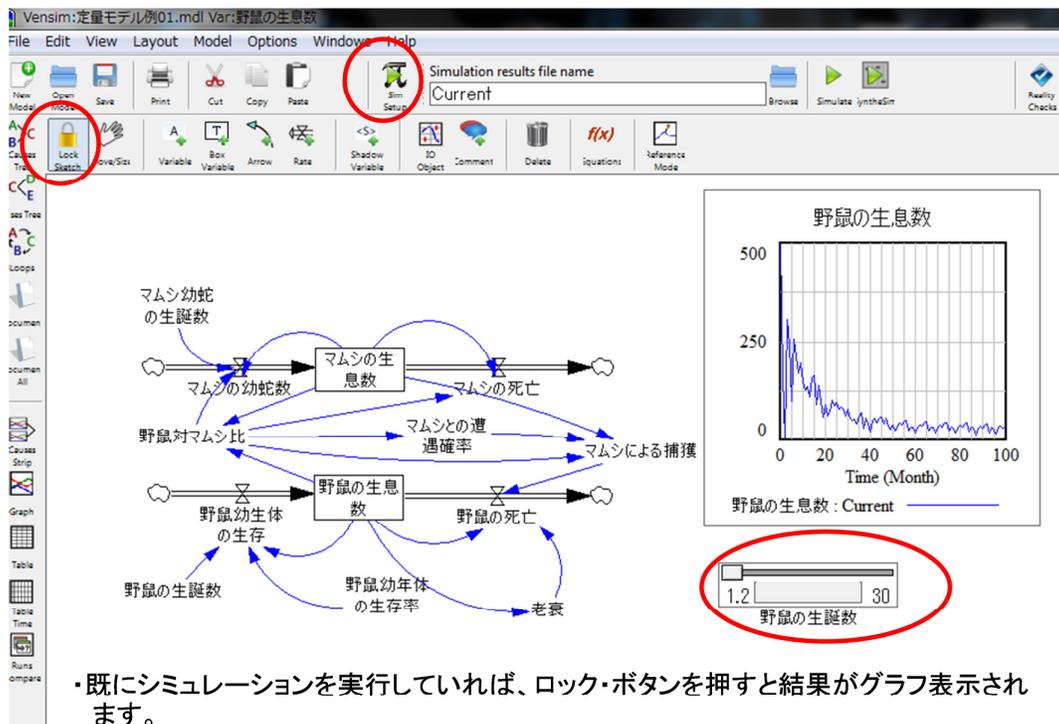


図 4-12 : 入出力オブジェクト

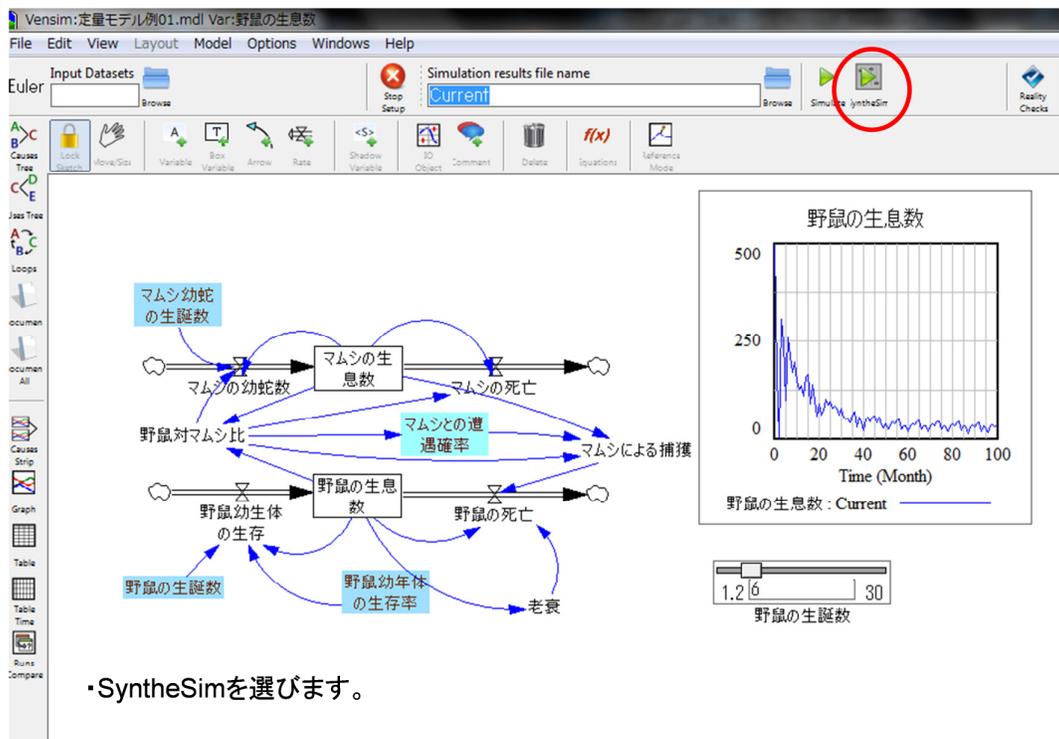
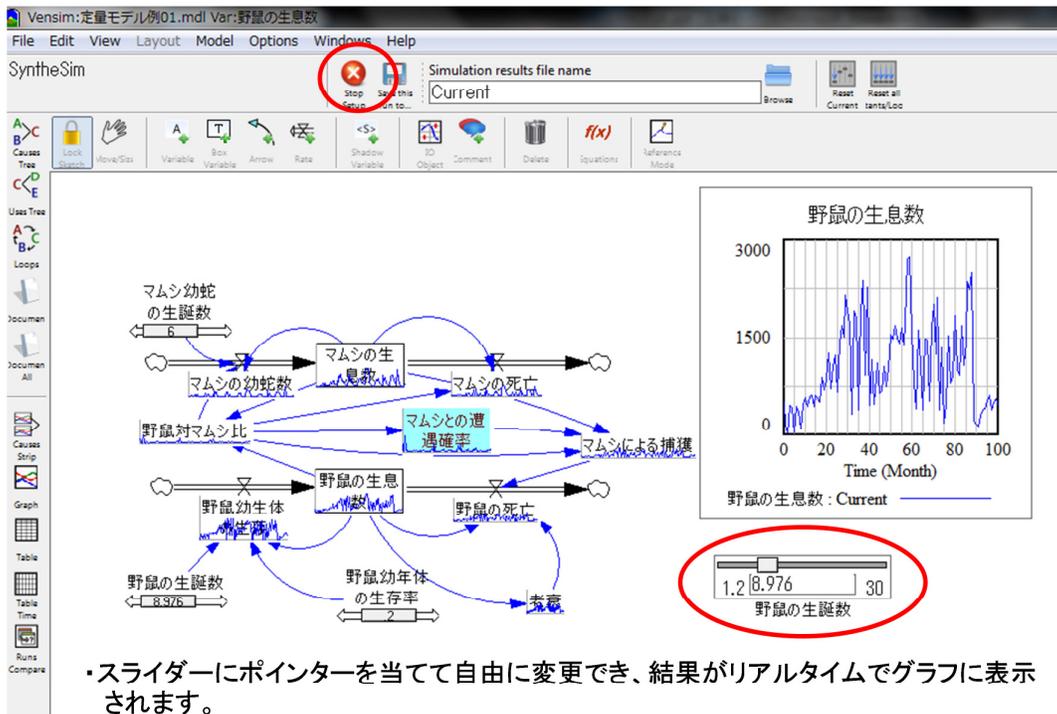
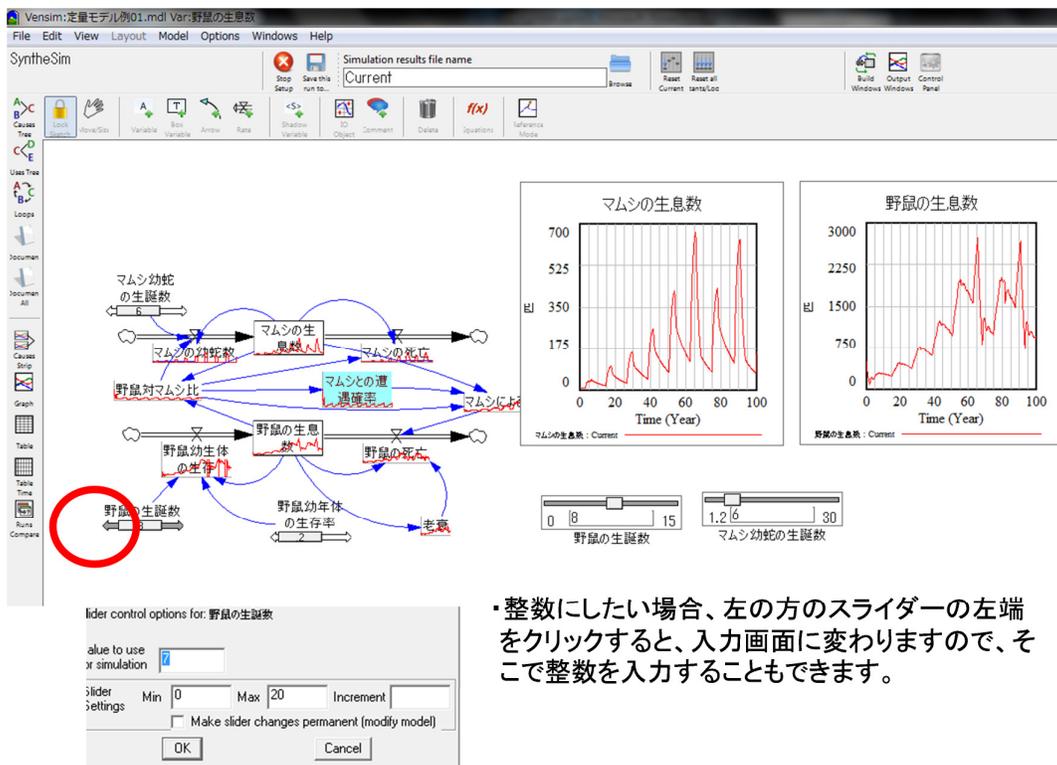


図 4-13 : 入出力オブジェクト



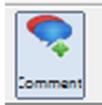
- ・スライダーにポインターを当てて自由に変更でき、結果がリアルタイムでグラフに表示されます。
- ・終了はStop Setupボタンを押します。

図 4-14 : 入出力オブジェクト

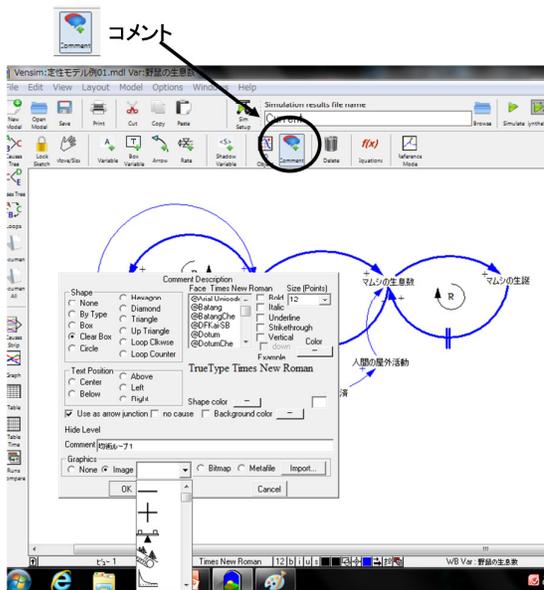


- ・整数にしたい場合、左の方のスライダーの左端をクリックすると、入力画面に変わりますので、そこで整数を入力することもできます。

図 4-15 : 入出力オブジェクト



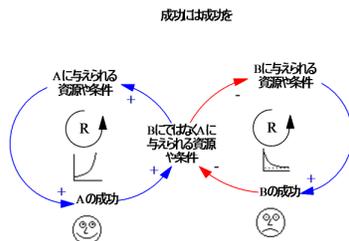
コメント：コメントを記載するためのツールで、図9のようなコメント記載ツールが現れます。モデルの中にコメントや説明文を記載したり、あるいはフィードバック・ループ記載で、ループが正（増強ループ）なのか負（均衡ループ）なのかをイメージ表示する際に使用します。ループは「時計廻り」か、「反時計廻り」かが指定できます。「コメント」欄には自由にコメントを記載できます。また、「増強ループ」、「均衡ループ」の記述には、「Graphics」で「イメージ」を選べば、「-」、「+」、シーソー（均衡）、雪崩（増強）などの記号で記載することも可能です。



- ・コメントを記載します。
- ・定性モデルのスケッチでは、多分多用するのではないのでしょうか。
- ・フィードバック・ループの説明では時計廻り、反時計廻りや増加ループあるいは均衡ループなどの指定を行えます。
- ・増加ループは+、R、雪崩アイコン、あるいは増加グラフ・アイコンで表現します。
- ・均衡ループは-、B、シーソー・アイコン、あるいは減少グラフ・アイコンで表現します。

コメントでよく使うアイコンです。

-  均衡ループ
-  増加ループ
-  均衡ループ
-  増加ループ
-  減少
-  増加
-  変化
-  遅延ループ
-  成功
-  失敗
-  苦勞の多い業務
-  行き詰まりの業務
-  自爆的
-  はちゃめちゃ



・こんな風に使います。これは成功には成功するというシステム原型の1つを表現したのですが、成功するとますます成功し勝ち組になり、成功しないとなかなか負け組みから抜け出せないという状況を笑顔のマークや上昇グラフのポンチ絵を使って表現しています。

図 4-16：コメント記載ツール



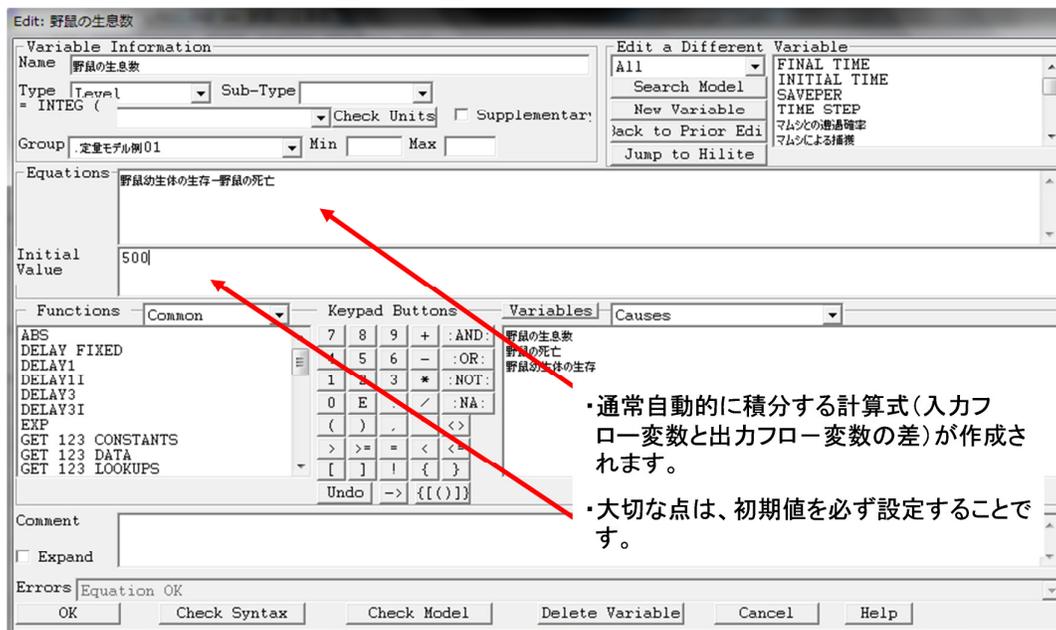
消去：不要な変数や矢印などを消去する際に使用します。Vensim の特徴ですが、別のツールのアイコンを選ぶまでは同じツールのモードが継続しますので、不注意で必要な変数や関係までも消去しないように注意して下さい。不注意を避けるには、小まめに保存することと、消去が終わったら、とりあえずすぐに画面可変ツールに切替えることです。万一過って消去した場合でも「編集」メニューから「元に戻す」を選択すれば、復元できます。



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**：Equation には、通常、自動的に、積分する計算式（入力フロー変数と出力フロー変数の差）が作成されます。必要であれば、この定義式は変更できます。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。大切な点は、ここで、初期値を必ず設定することです。

①ストック変数の定義



- ・通常自動的に積分する計算式（入力フロー変数と出力フロー変数の差）が作成されます。
- ・大切な点は、初期値を必ず設定することです。

図 4-17：ストック変数定義画面

- ・**定数**：変数や定数、フロー変数を定義する画面と同じですが、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。

⑤定数の定義

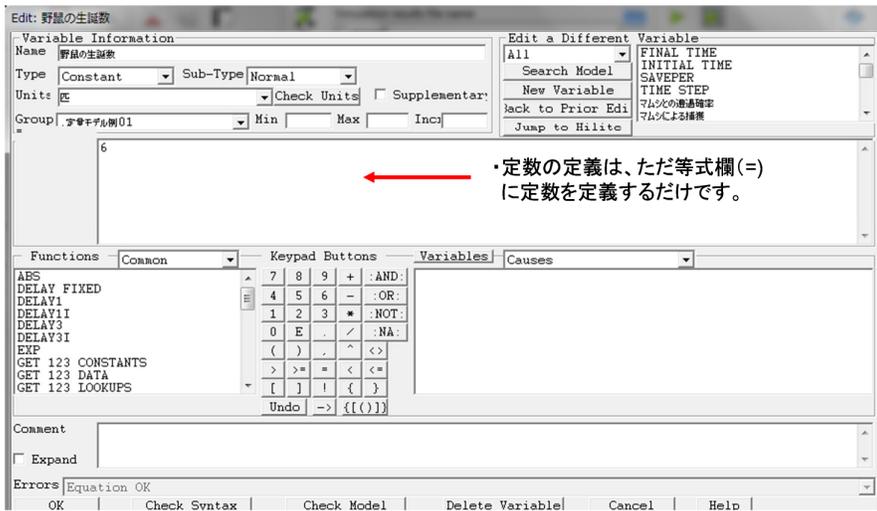


図 4-18：定数定義画面

・ **変数及びフロー**：フロー変数の定義と、通常の変数の定義のやり方は全く同じです。通常自動的に使用しなければならない係数名が Variable 欄に表示されますので、四則演算や論理演算子、あるいは関数を使って定義します。使用しなければならない変数（因子）の一覧に表示されたパラメーター名は、全部使用しないと、エラーになります。定義エラーがあると、OK ボタンを押して終了することができません。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。

②フロー変数の定義と④それ以外の変数の定義

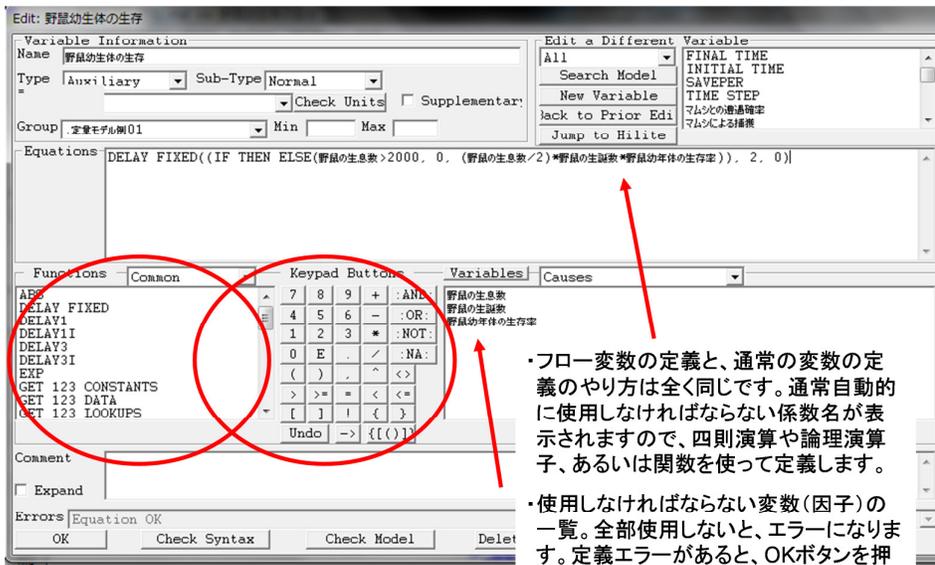


図 4-19：変数及びフロー定義画面

- **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。

- テーブル関数は、通常の算術関数では表現できない因子の定義を行う際に使用するもので、インプットとOutputの表形式で値と関係を指定してもかまいませんし、ポインターでグラフ表示をすることも、両者のミックスもできます。
- 表形式で入力することもできます。
- TypeにAuxiality、Sub-Typeにwith Lookupを選びます。
- 画面がこのように変わります。=with LOOKUPIに引数となる変数名前を指定します。

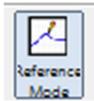
図 4-20：テーブル関数定義画面

- As Graphを選ぶと、グラフあるいは表形式の定義画面が表示されます。
- 表に入力してもいいし、グラフ上でポインターで適当にクリックし、移動しても構いません。

図 4-21：テーブル関数定義画面

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ー変数名をクリックすればすると「Do you want to convert parameter variable 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ー変数の値として、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、またパラメーターの最適値を決める場合に利用できます（ただし、残念ながら Vensim PLE ではこの山登り法による最適値算出機能は利用できません）。

参照モード

Simulation results file name: Current

Input	Output
0	45.37
21	48.02
34	49.34
46	51.54
62	55.95
77	68.28
89	81.06
99	97.36

Y-max: 100
Y-min: 0

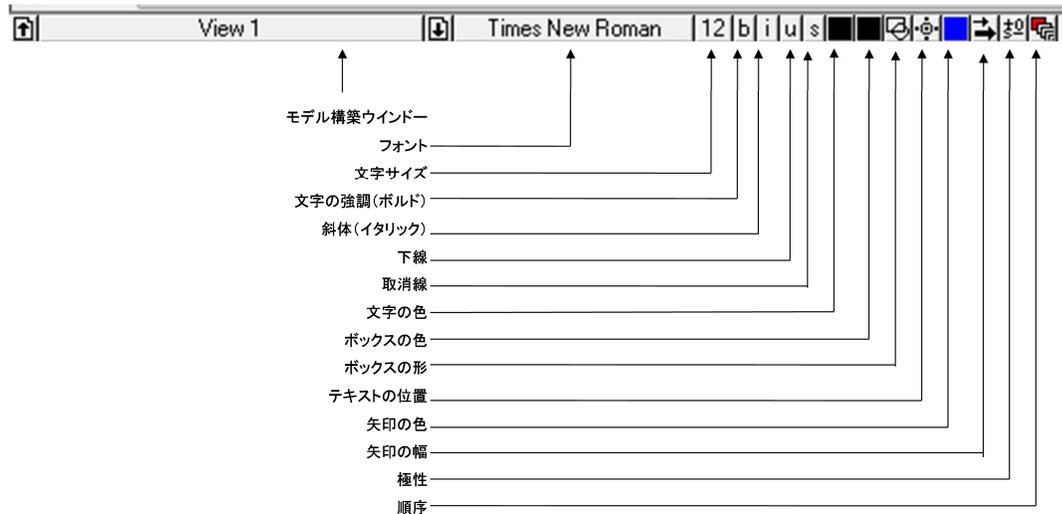
- ・参照モードは、モデルに外部データを入力し、モデル変数のデータとして利用したり、あるいはモデルの出力結果と実際のデータを参照する場合に利用できます。
- ・この例では、野鼠幼生体の生存にこうなるであろうと予想した振る舞い(青)を与えていて、実際のシミュレーション結果(赤)と比較しています。

図 4-22：参照モード

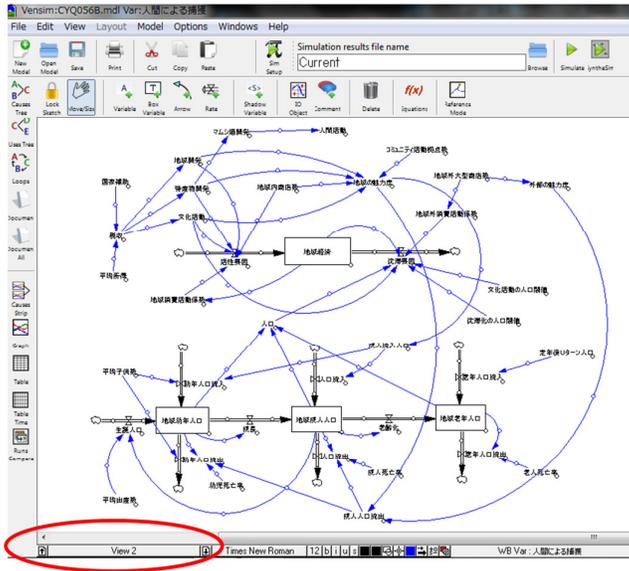
5. ステータス・バー

この節では、図 2-2 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 5-1：ステータス・バー



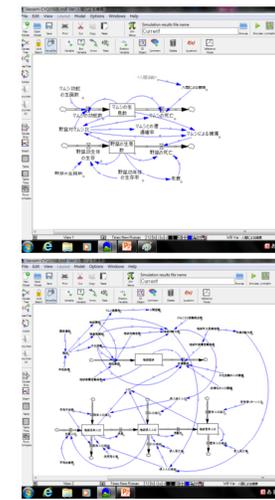
モデル構築ウインドー：Vensim PLE ではモデルをモジュールに切り分けたり、モデル記述部とグラフや表などによる表示部分に分けて表示できます。また、モデルが大きすぎて一度に全部を表示できない場合、何画面目を表示しているのかという、表示されている画面の何号をこのウインドーに示しています。このウインドーの左右にある矢印で、表示部分を切替えることができます。View に分けられたモジュール間は代行変数（シャドー変数）で繋がります。



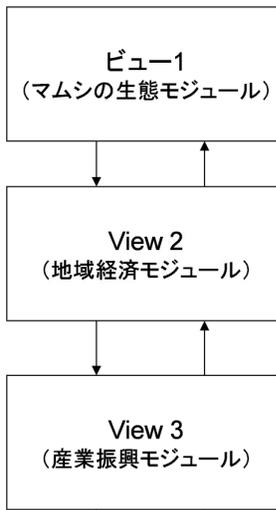
- ・Vensim PLEではモジュールや表示範囲をビュー構築ウィンドウで切り分けられます。
- ・これは、今まで例として示していたマムシ生態数モジュールの裏にある地域経済モジュールで、このモジュールはビュー構築ウィンドウの横にある矢印で切り替えて表示したものです。

図 5-2 : View

ビュー構築ウィンドー



定量モデル例02の構造



マムシの生態モジュールと地域経済モジュールは、変数「人間による捕獲」で繋がっている。ビュー1のマムシ生態モデル上では、この変数はシャドー変数として表されています。

実は、このモデルは、もともとはマムシ酒が地方特産物にならないかという話があり、それでは一体どのくらいマムシが生息しているのだろうかということで、地域経済モデルの1つのサブ・モジュールとして付け足したものです。

図 5-3 : View の切り替え

Times New Roman 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。

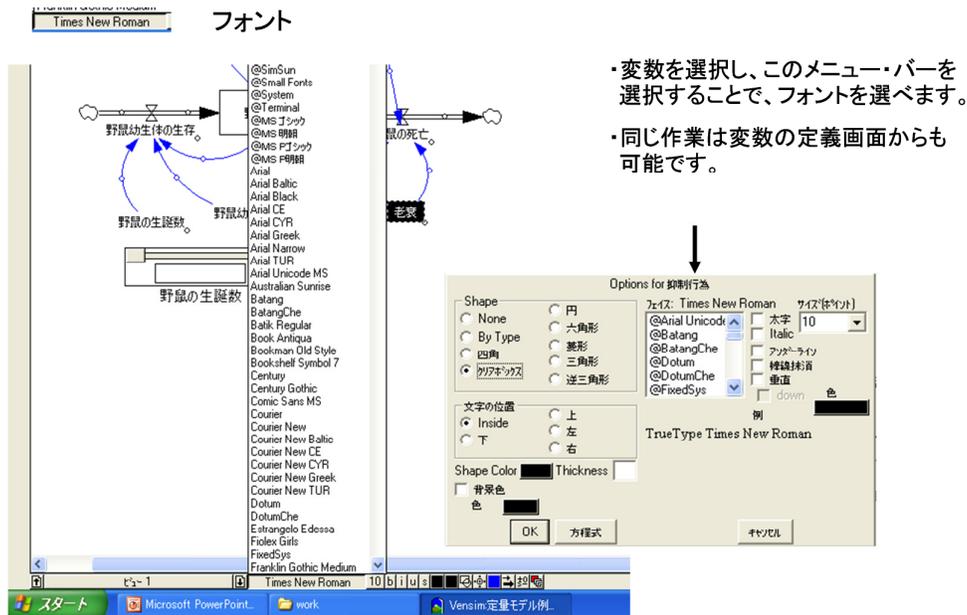


図 5-4：フォント（字体）

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。

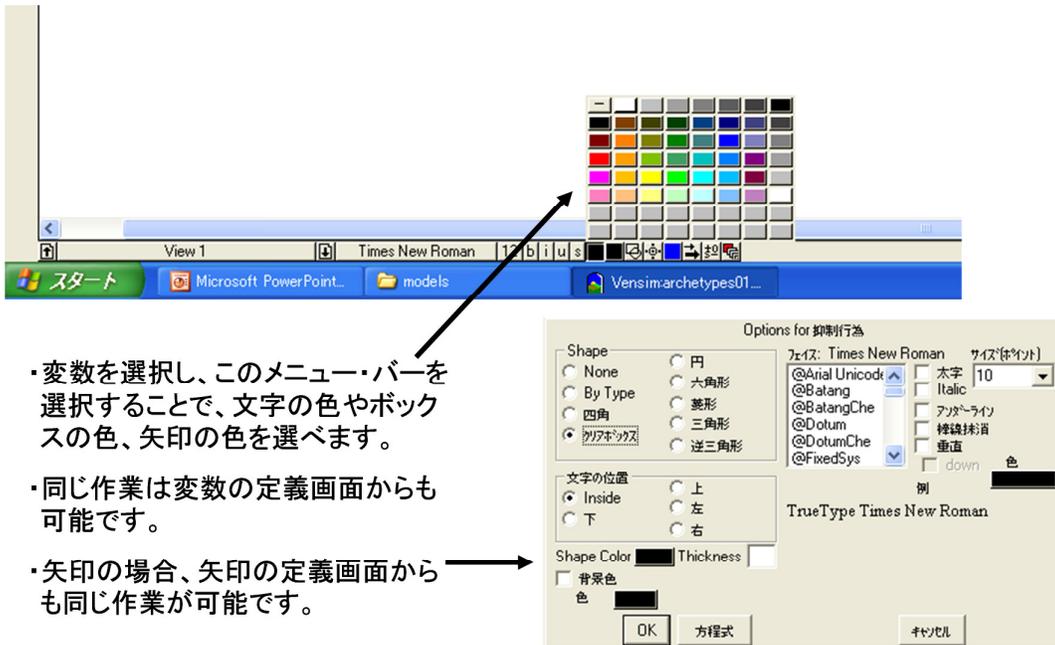
下線：下線を引くことができます。

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：ボックスの色を変えることができます。

文字の色、ボックスの色、矢印の色

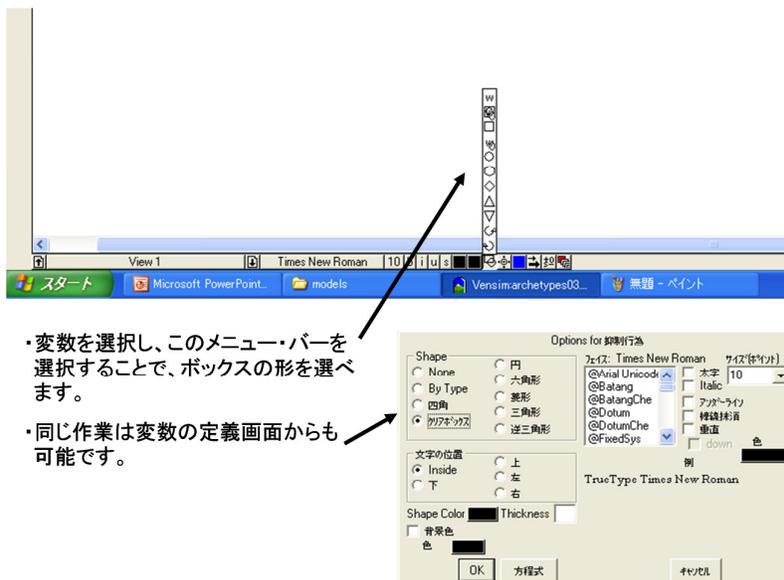


- ・変数を選択し、このメニュー・バーを選択することで、文字の色やボックスの色、矢印の色を選べます。
- ・同じ作業は変数の定義画面からも可能です。
- ・矢印の場合、矢印の定義画面からも同じ作業が可能です。

図 5-5 : 色

ボックスの形 : ボックスの形を変更できます。

ボックスの形



- ・変数を選択し、このメニュー・バーを選択することで、ボックスの形を選べます。
- ・同じ作業は変数の定義画面からも可能です。

図 5-6 : ボックスの形

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。

矢印の幅

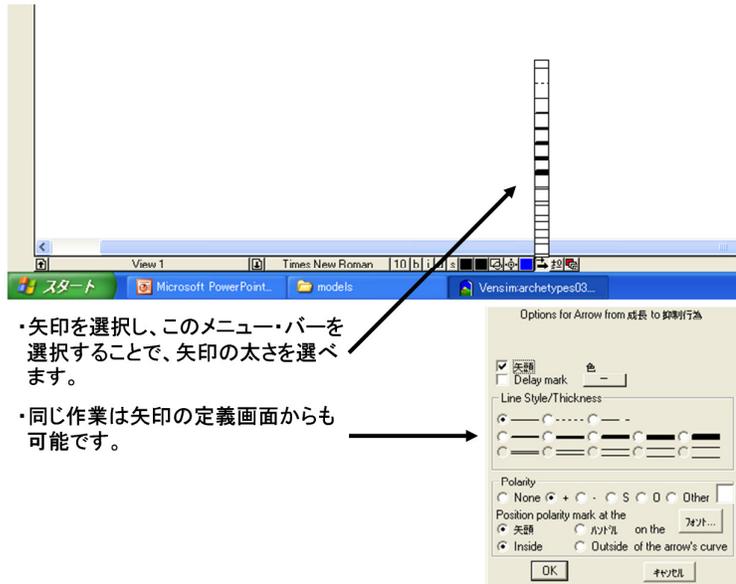


図 5-7：矢印の幅

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。

矢印の極性

The screenshot shows the Vensim interface with a stock-and-flow diagram. The diagram includes stocks like '問題' (Problem) and '対応' (Response), and flows like '成長努力' (Growth Effort), '成長' (Growth), '成長抑制' (Growth Inhibition), '投資効果の評価' (Evaluation of Investment Effect), and '投資抑制' (Investment Inhibition). A dialog box titled 'Options for Arrow from 成長 to 抑制行為' is open, showing options for arrow polarity and position.

- 矢印を選択すると点線で囲まれた四角が表示されます。このメニュー・バーを選択することで、矢印の極性を選べます。
- 同じ作業は矢印の定義画面からも可能です。

図 5-8 : 矢印の極性

順序 : 画面の表示順序を前後に入れ替えることができます。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。

6. 分析ツール

この節では、図 2-2 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。

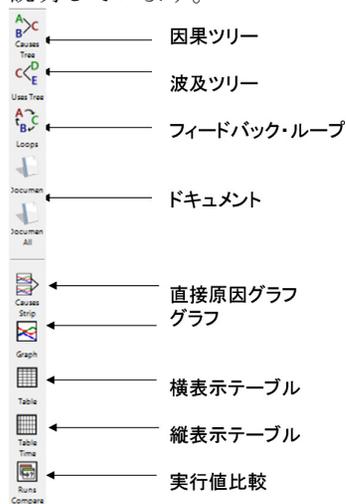


図 6-1：分析ツール・バー



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 6-2 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。

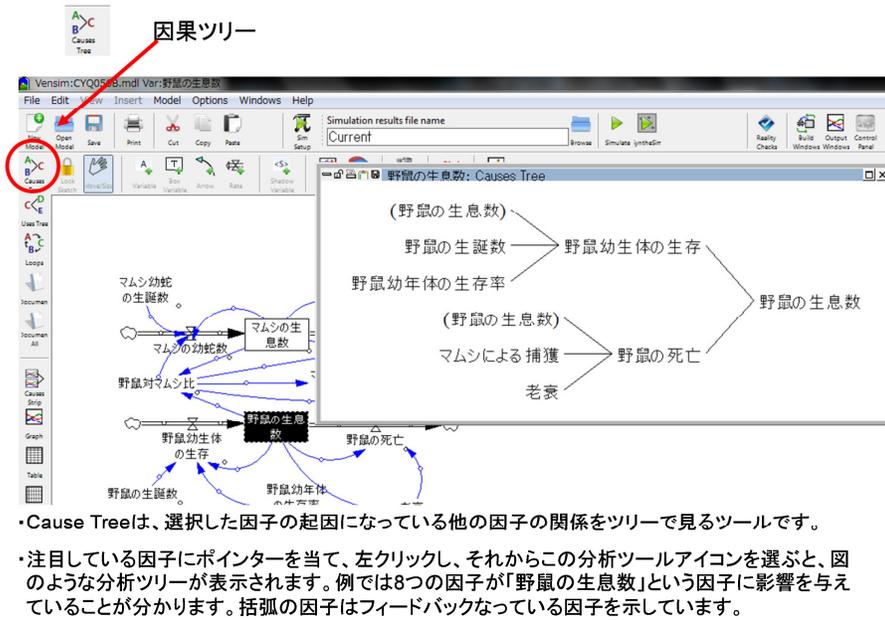


図 6-2 : 因果ツリーによる分析例

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 6-3 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。

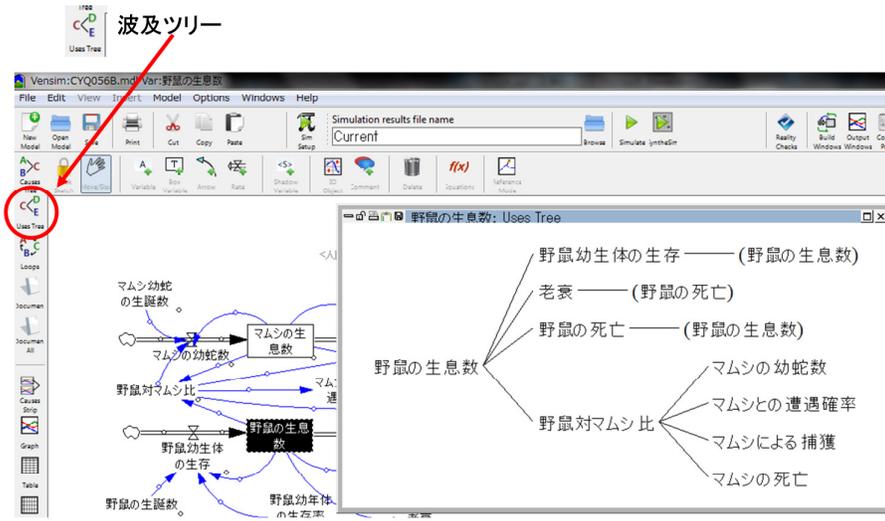
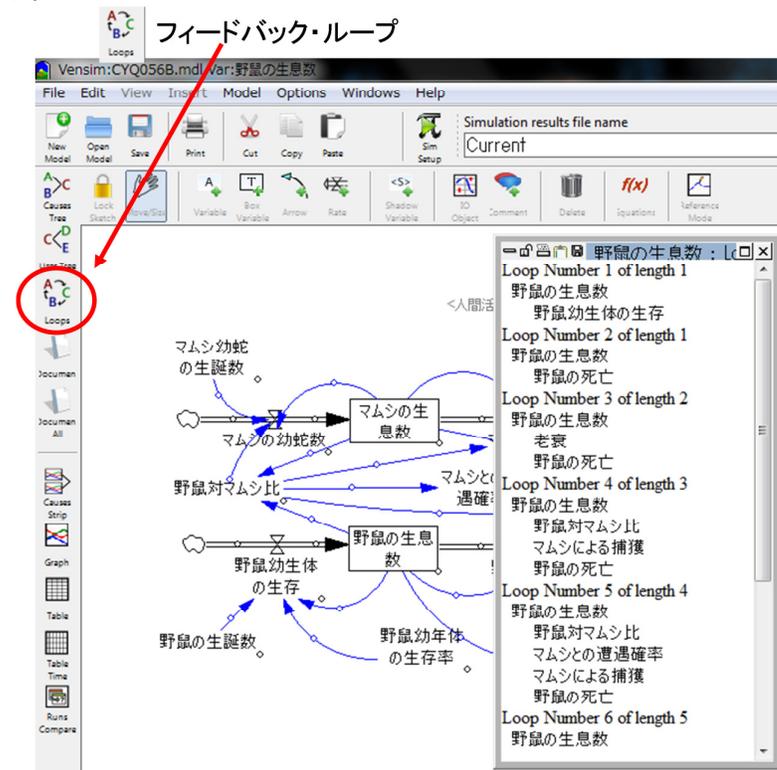


図 6-3 : 波及ツリーによる分析例



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 6-4 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。



・Loopsは、因子が関係しているループを見るツールです。

・この分析ツールアイコンを選ぶと、図のようなループの表が表示されます。例では最初の6つのループが表示され、それぞれのループに関係している因子名が表示されています。

図 6-4: フィードバック・ループの分析例



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。

ドキュメント

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))
Units: 匹

野鼠の生誕数、野鼠幼年体の生存、野鼠幼年体の体存数、野鼠の死亡

- Documentは選択した因子の定義を一見るツールです。
- 全体を表示したい場合は、その下のDocument Allを使います。
- モデルでの因子の定義をトレースすることで、定義の誤りや不適切さなどを発見することができます。

図 6-5 : ドキュメント機能による表示例

ドキュメントAll

(01) FINAL TIME = 100
Units: Month
The final time for the simulation.

(02) INITIAL TIME = 0
Units: Month
The initial time for the simulation.

(03) SAVEPER =
TIME STEP
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.

(04) TIME STEP = 1
Units: Month [0,?]
The time step for the simulation.

(05) コミュニティ活動拠点数 = A FUNCTION OF()
Units: **undefined**

(06) マムシとの遭遇確率 = WITH LOOKUP(
野鼠対マムシ比,
((0,0)-(500,500)),(0,0),(1,0.1),(2,0.3),(8,5),(9,6),(501,754.491.189))
Units: **undefined**

(07) 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

マムシ幼蛇の生誕数、マムシの幼蛇数、野鼠対マムシ比、野鼠幼年体の生存、野鼠の生誕数、野鼠の生息数、野鼠の死亡

- Document Allは定義式全体を表示するものです。
- モデルでの因子の定義をトレースすることで、定義の誤りや不適切さなどを発見することができます。

図 6-6 : 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が。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が。

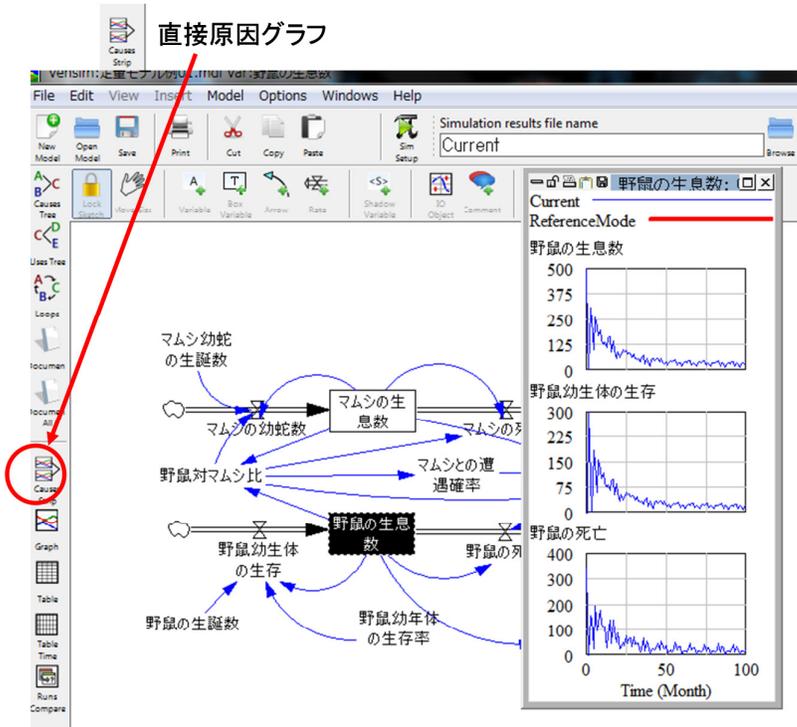


図 6-7：直接原因グラフ例



直接原因グラフ

- ・関連する変数(入力と出力)の振る舞いを並べて比較表示するツールです。
- ・注目している変数にポインターを当て、右クリックし、それからこの分析ツールアイコンを選ぶと、図のようなグラフが表示されます。
- ・2つの変数の関係が正、すなわち一方が増加すれば、その影響で他方も増加するのであれば、同じ増減パターンになるはずですが。
- ・もし関係が負、すなわち一方の増加が他方の減少になるのであれば、周期的に丁度逆の増減パターンになるはずですが。
- ・例では、野鼠の数が増えれば生まれる野鼠の数も増え、また、死亡する野鼠の数も多くなりますので、お互いに正の関係になります。

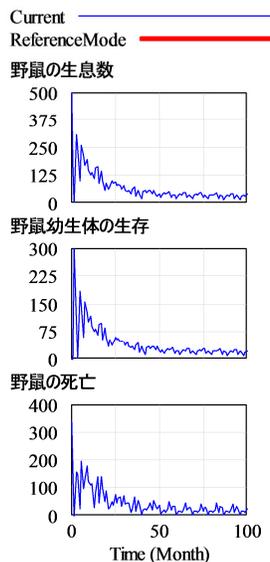
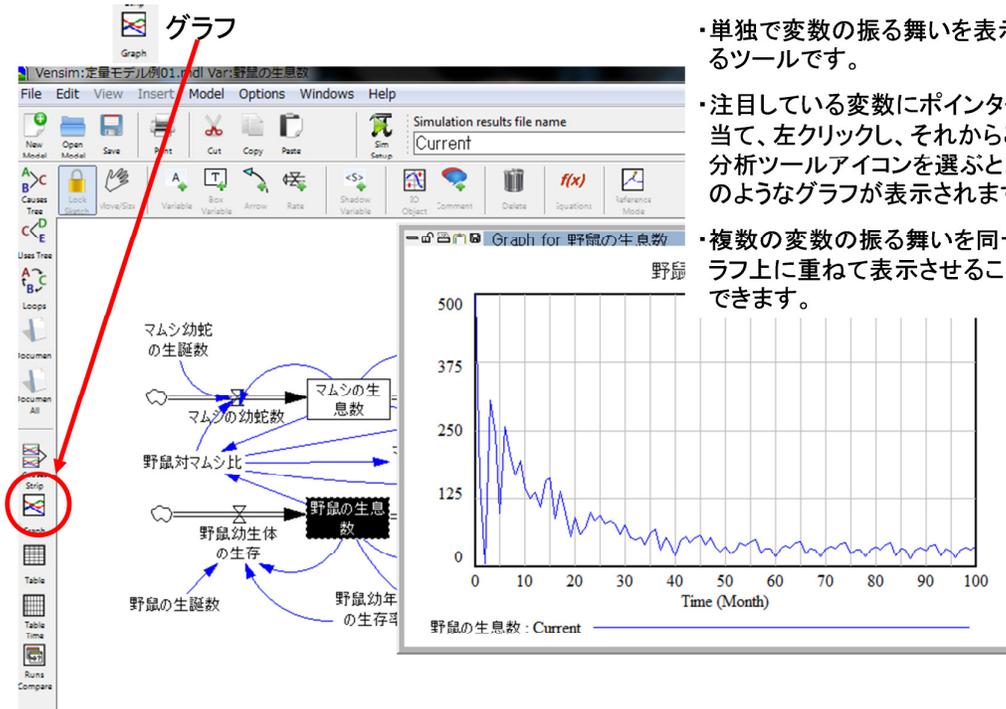


図 6-8：直接原因グラフ例

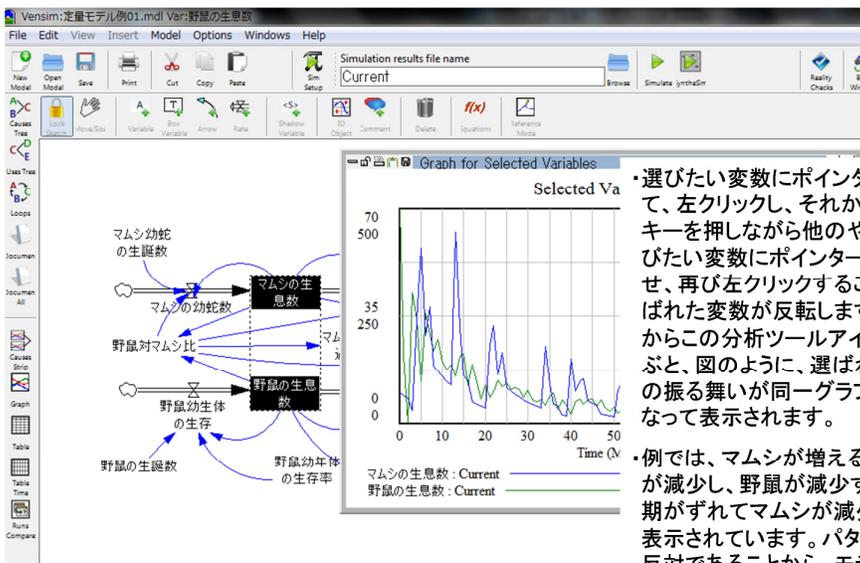


グラフ：変数の変化をグラフ表示します。注目している変数を選択し、その動きを単独でグラフ表示させ、その動きが、妥当であるかどうかをチェックする際に使用します。



- 単独で変数の振る舞いを表示するツールです。
- 注目している変数にポインターを当て、左クリックし、それからこの分析ツールアイコンを選ぶと、図のようなグラフが表示されます。
- 複数の変数の振る舞いを同一グラフ上に重ねて表示させることもできます。

図 6-9：単独グラフ例



- 選びたい変数にポインターを当て、左クリックし、それからシフト・キーを押しながら他のやはり選びたい変数にポインターを移動させ、再び左クリックすることで選ばれた変数が反転します。それからこの分析ツールアイコンを選ぶと、図のように、選ばれた変数の振る舞いが同一グラフ上で重なって表示されます。
- 例では、マムシが増えると野鼠が減少し、野鼠が減少すると周期がずれてマムシが減少するが表示されています。パターンが正反対であることから、モデルとして考えていたことが正しく表現されていることがチェックできます。

図 6-10：単独グラフ例

Table 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。

Table 横テーブル

・注目している変数の振る舞いを横表形式で表示するものです。

・選みたい変数にポインターを当て、左クリックし、それからシフト・キーを押しながら他のやはり選みたい変数にポインターを移動させ、再び左クリックすることで選ばれた変数が反転します。それからこの分析ツールアイコンを選ぶと、図のように、選ばれた変数の振る舞いが同一の表上で表示されます。

Time (Month)	0	1	2	3	4	5
野鼠の生息数	500	160	4	304	243	97.4
野鼠幼生体の生存	0	0	300	96	2.4	182.4

図 6-11: 横表示テーブル例

Table 縦表示テーブル: これは先の表を縦にしたものです。

Table 縦テーブル

・注目している変数の振る舞いを縦表形式で表示するものです。

・選みたい変数にポインターを当て、左クリックし、それからシフト・キーを押しながら他のやはり選みたい変数にポインターを移動させ、再び左クリックすることで選ばれた変数が反転します。それからこの分析ツールアイコンを選ぶと、図のように、選ばれた変数の振る舞いが同一の表上で表示されます。

Time (Month)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
野鼠の死亡	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
野鼠の生息数	340	156	0	157	148	24	194	97	127	175	121	107	113	27	77
野鼠幼生体の生存	500	160	4	304	243	97.4	255.8	207.6	169.04	195.52	145.08	125.504	135.816	109.864	158.164
野鼠幼生体の生存率	0	0	300	96	2.4	182.4	145.8	58.44	153.48	124.56	101.424	117.312	87.048		

図 6-12: 縦表示テーブル例

実行値との比較 実行値との比較：過去のパラメーター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。

実行値との比較

Vensim: 定量モデル例01.mdl Var: 野鼠の生息数

File Edit View Insert Model Options Windows Help

Simulation results file name: Current12

Comparing Current12 and Current1

Comparing Current12 and Current

*****Constant differences between Current12 and Current*****

野鼠の生誕数 - has changed in value	Current12	Current
12	Current12	6
6	Current	

野鼠幼生体の生存

野鼠の死亡

野鼠の生誕数

野鼠幼年体の生存率

老衰

- ・この分析ツールアイコンを選ぶと、図のように、変数に設定した値の変更履歴が表示されます。
- ・例では、野鼠の出産数を5匹にし、シミュレーションし、次に6匹にしてシミュレーションし、シミュレーションしたファイル名を「出産数6」として保存しています。このように、過去の実行ファイルの履歴を表示できます。

図 6-13：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 7-1 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。

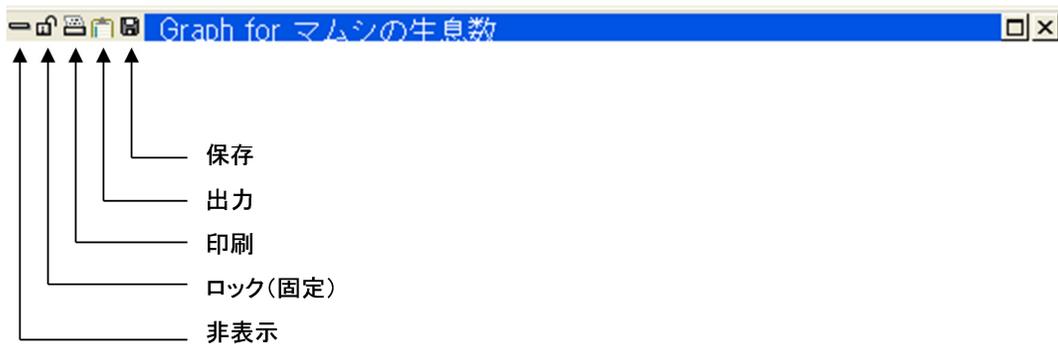


図 7-1 : 出力と印刷

ロック：グラフや表の画面を固定します。このコマンドでロック（固定）にすると、「画面からの消去」アイコンが消えます。表示画面切り替えコマンドには今まで分析ツールなどで選んだグラフや表などの出力画面が全て表示されますが、ロック状態にすることで消去できなくし、逆に余分なものは消去し、見やすいプレゼンテーション用の表示画面を作成できます。



- ・画面からの消去：画面から非表示させます。
- ・ロック(固定)：グラフや表の画面を固定します。このコマンドでロック(固定)にすると、「画面からの消去」アイコンが消えます。表示画面切り替えコマンドには今まで分析ツールなどで選んだグラフや表などの出力画面が全て表示されますが、ロック状態にすることで消去できなくし、逆に余分なものは消去し、見やすいプレゼンテーション用の表示画面を作成できます。

図 7-2 : ロック

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。

・印刷：グラフや表を印刷します。



図 7-3：印刷

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ー・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。

・出力：

・ウィンドー・コンテンツとしてウィンドー出力します。パワーポイント、ワード、エクセルなどのファイルにコンテンツをコピーできます。

・このメニュー・アイコンを選び、次にパワーポイント、ワード、エクセルなどのファイルにポインターを移動させ、「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)」を選べば貼り付けることができます。

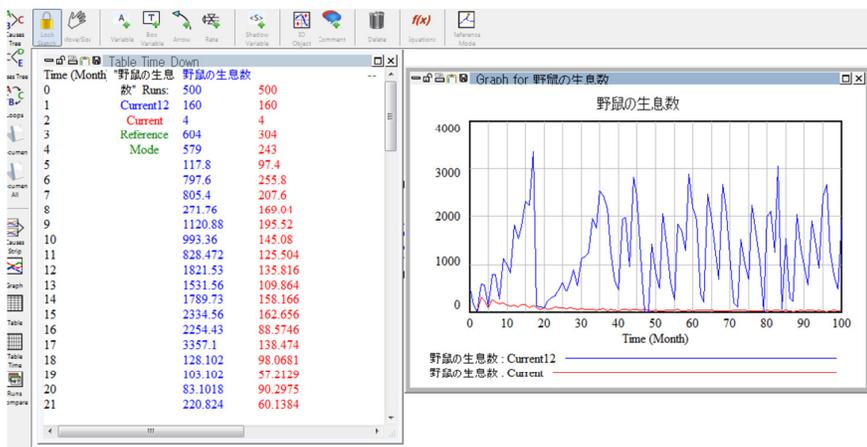


図 7-4：出力

保存：分析ツールによるシミュレーション結果、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。

- ・保存:ファイルとして保存できます。
- ・グラフはwmfファイルとして、テーブルはtxtファイルとして出力されます。
- ・テーブルはエクセルなどに取り込んで利用できます。

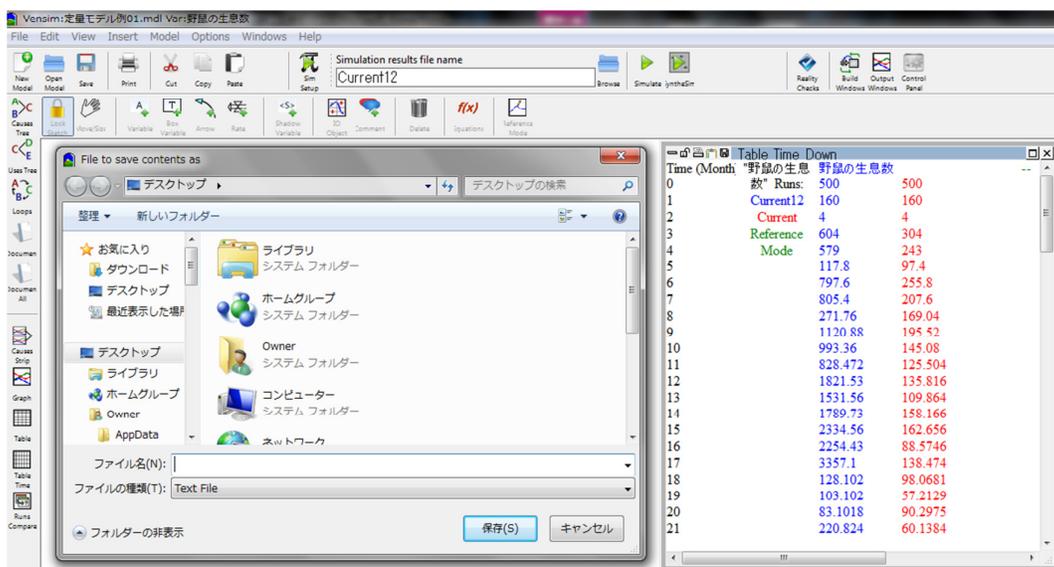


図 7-5 : 保存

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})

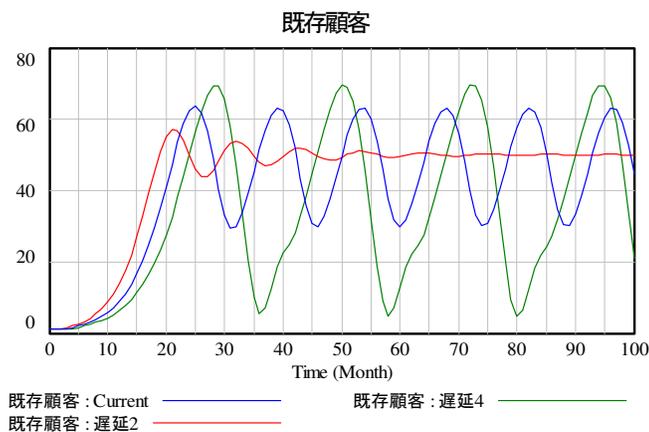
単純な 3 次遅れ：

DELAY3({in} , {dtime})

指数 3 次遅れ：

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

遅延の感覚が難しいかも知れませんが、製造などで、製造計画で決めた数量が、製造工程にかかり、製造期間を経て完成していくといった遅延では、入力と出力に合い値の違いはなく、単純に入力と出力の時間が違うだけです。こういった遅れをパイプライン遅れと称し、DELAY FIXED 関数を使って定義します。



DELAY FIXED(広告量、遅延期間、0)

図 8-1：遅延：Current を指数遅れにした結果

これに対し、マスメディアに広告を載せた場合などでは、広告が掲載された直後にはどっと反応があるが、時間経過と共に反応が少なくなります。この変化は、マイナルの指数変化と考えられます。あるいは、新製品を発売すると、発売直後はあまり売れないが、や

がて売れだし、ある期間を経過すると、一定の数が売れるようになります。この変化は成長曲線と考えられます。このような場合は指数遅れの遅延関数である DELAYII などを使います。図 8-2 に指数遅れの結果を示していますが、左は、入力を 0 から 10 に一気に変化させたのですが、指数遅れのせいで 100 かかってゆっくり、成長曲線で 10 になっています。右は時間 50 の時に入力を 2 だけ上げ、その後 0 に戻したのですが、指数遅れで、その後 50 から 100 まで時間をかけて 2 から 0 に、負の指数曲線的に減少しています。

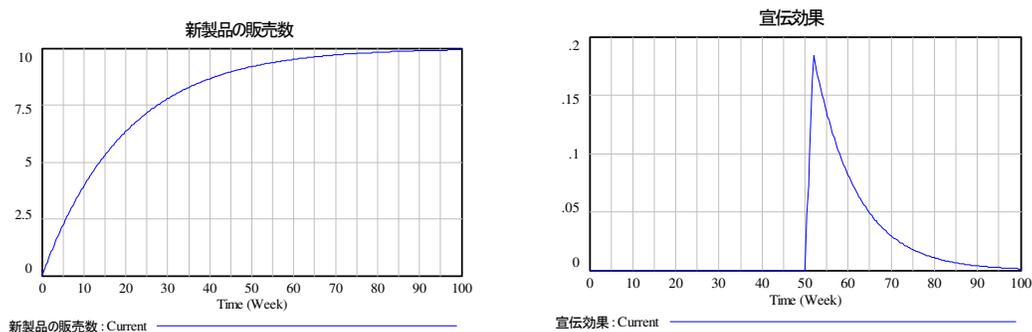


図 8-2：遅延：指数遅れ

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})

MODULO は、カレンダーの管理などに使います。例えば、時間の単位が日であれば、日数をカウントし、7 で割り、余りが 5 以上か、0 であれば土日になります。時間の単位が月であれば、12 で割って、余りが 3 以下、11 以上であれば冬、3 以上 6 以下で春、6 以上 9 以下で夏、9 以上 12 以下で秋になります。

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})

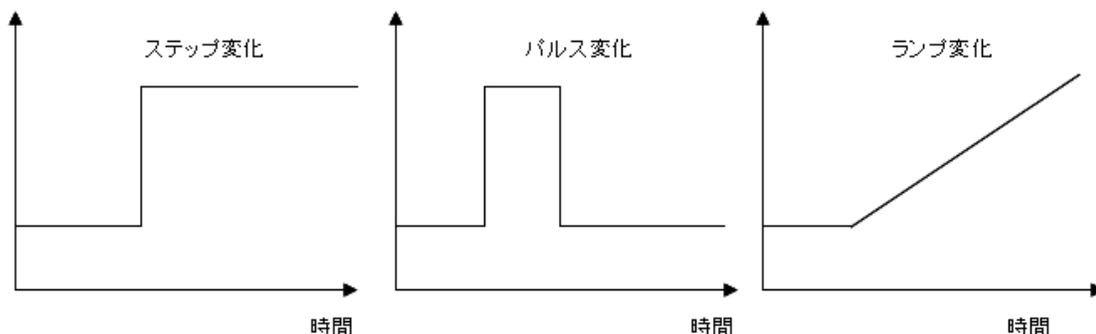


図 8-3：ステップ変化、パルス変化、ランプ変化

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})

三角関数も、季節変化などを起こしたい時に良く使います。例えば、夏はうんと商品が売れるが冬は全く振るわないなどという場合に使います。

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)

なお、時間に関する変数として、**Time** (経過時間)、**INITIAL TIME** (シミュレーション開

始時)、FINALTIME (シミュレーション終了時) が使えます。代行変数のボタンを押すと、利用できる変数の一覧に含めて、これらの時間変数が使えます。

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いきます。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。

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。

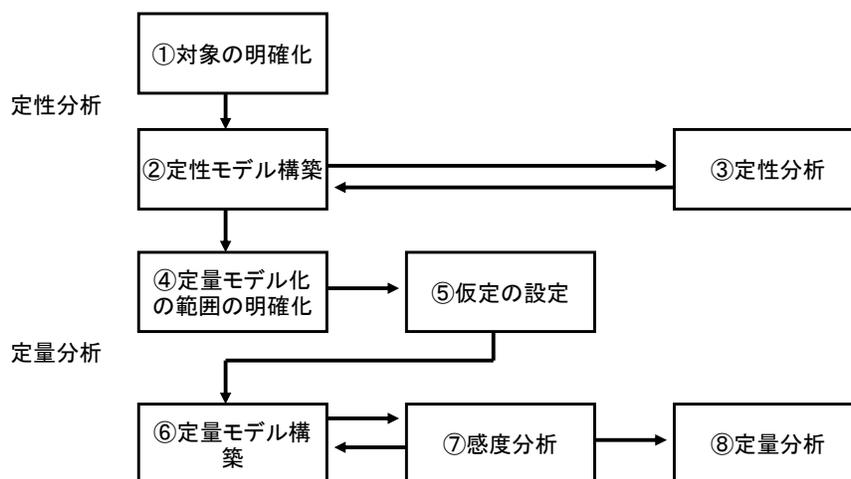
システム・ダイナミクスでは、ただ無鉄砲に対象に取り組み、定量モデルを構築し、いきなりシミュレーションを行い、出た結果を鵜呑みするというやり方は行いません。最初に問題と考えていたことが実は本質的な問題ではなかったということがよくあるからです。まずは関連する情報を集め、対象を理解することが最初のステップです。

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。

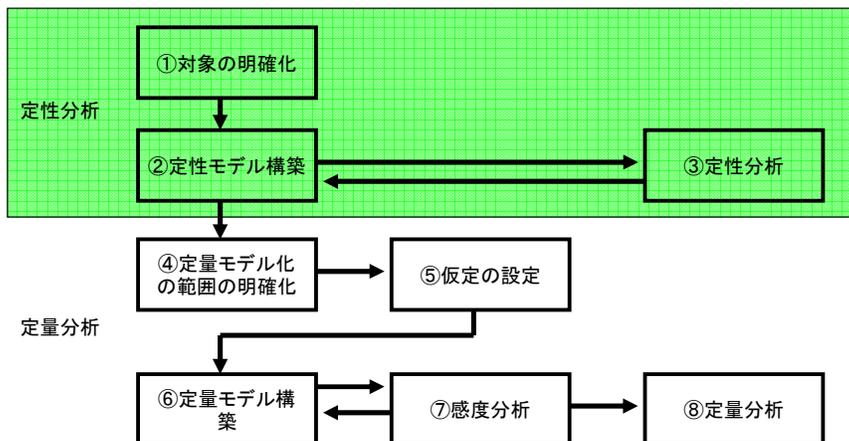
次に、構築された定量モデルに過去のデータを当てはめたり、定数の値をいろいろ変えた結果を見て、妥当性を検証します。これが感度分析と呼ばれる作業です。こうして、定量モデルの妥当性が検証された後で、いろいろシミュレーションを実施し、定量分析をします。

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。



こういった一連のシステム・ダイナミクスのやり方を手順で示したのが、上の図です。この章では、このやり方、手順に沿って、対象を明確化し、定性分析を行い、次いで定量分析を行うやり方を、例にそって解説しています。

9. 定性モデル構築と定性分析



定性モデル構築と定性分析を行います。この部分はシステム思考とも呼ばれます。

9-1. 対象の明確化（モデルの対象）

蛇が嫌いな人には申し訳ないのですが、ニホンマムシという毒蛇のことを取り上げてみましょう。ここでは、ニホンマムシの生息の関係を調べるものとします。山林地域に生息し、野鼠などの小動物を餌にしています。このニホンマムシと餌としてマムシが捕食している野鼠との関係を分析することを考えてみましょう。ニホンマムシは野鼠だけではなく、その他の小動物も餌にしていますが、ここでは野鼠とマムシの関係だけに絞って分析することとします。

このように、モデルにする対象を明確化する作業を最初に行います。そうでないと、マムシの生態には、人間、狐などの大型動物、野鼠などの小型動物、カエルなどの両生類、カエルなどが捉える昆虫、昆虫が餌にしている草といったものが、直接的、間接的に関係していますので、人間と野鼠の関係なのか、野鼠と昆虫の関係なのか、一体何を目的としているのか分からなくなります。

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ヶ月生きるそうです。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。

モデルを作る前に、ニホンマムシの生態に関する情報をいろいろ調査します。生態、特に生息数に関する情報として、例えば、餌は何か、どのくらい生きるのか、雌はどのくらい出産するのか、そして、そもそも何匹くらい生息していて、何匹くらい捕獲されているのかといった情報があればそれを調べます。ニホンマムシに直接関係はないのですが、餌となる野鼠についても同じように調べてみます。モデル化の前に、十分な情報収集と収集した情報の理解が最初に必要です。モデルは実は、収集した情報とその理解を図にまとめたものなのです。

9-2. 定性モデル構築

図 9-1 に定性モデルのメインの部分を示しています（全体は図 9-5）。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 9-1 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 9-1 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 9-1 で中心が「R」と示された左のループ）。

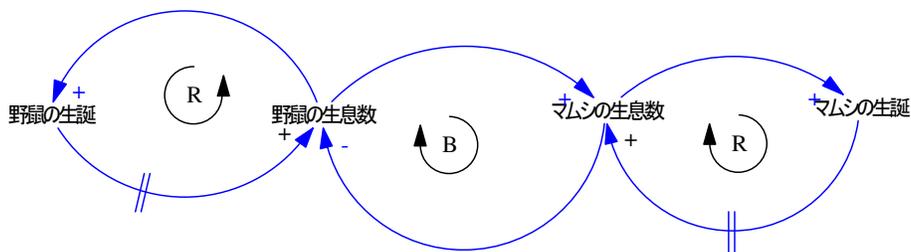


図 9-1：マムシの生存（定性モデル）

9-3. 定性モデルの構築

それでは、図 9-1 の定性モデルを構築してみましょう。

ステップ 01：Vensim PLE を立ち上げる。

Vensim PLE を立ち上げて下さい。図 2-1 のような画面が表示されます。もし、前にモデルを作成していれば、図 2-1 のような白紙の画面ではなく、前に作成したモデルが表示されます。

ステップ 02：シミュレーション条件の設定

図 2-1 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 2-5 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。画面に、④の「モデル記述ツール・バー」と⑤ステータス・バーが新しく表示され、図 2-2 のようになります。この状態であれば、モデルを作成することができます。

ステップ 03：変数の記載

変数を記載します。④「モデル記述ツール・バー」から、「変数アイコン」 を選択します。そして、ワークベンチにポインターを移動し、クリックすると画面に変数記載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。左クリックでどどん変

数名を記入するボックスが現れます。

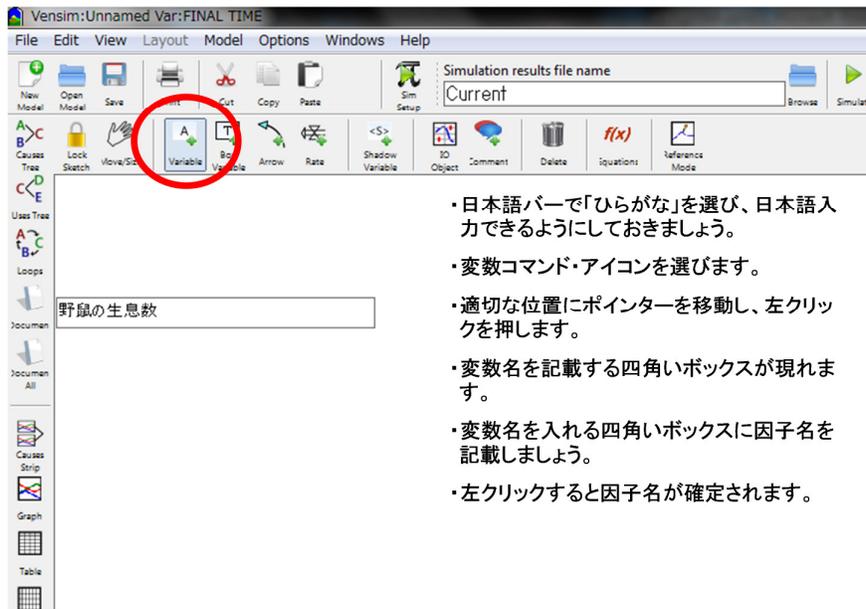


図 9-2：変数の記載

ステップ 04：アロー（矢印）

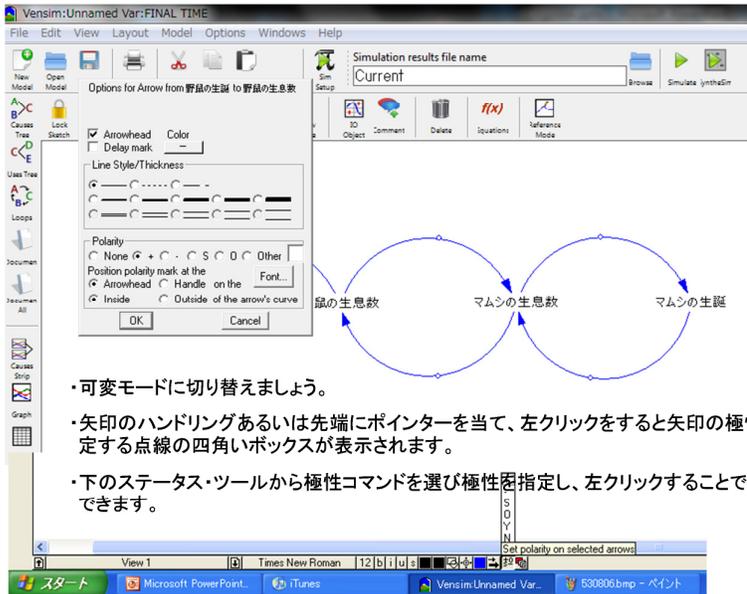


④「モデル記述ツール・バー」から、「アロー・アイコン」を選択します。ワークベンチに移動後、ポインターを始点の変数に当て、左クリックをして、一旦、マウスのクリックボタンから指を離します。そのままマウスを終点の変数に移動させ、再度左クリックを行います。こうして矢印で変数の間を結びつけることができます。矢印の中央にハンドリングのための小さな円が表示されますので、ここにポインターを当てドラッグすることで自由に矢印の曲率を変更できます。

「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「//」が付いています。矢印のハンドリングの円にポインターを当て、右クリックで「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ーを当て、左クリックすると点線で囲まれたボックスが現れます。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、矢印にポインターを当て、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。



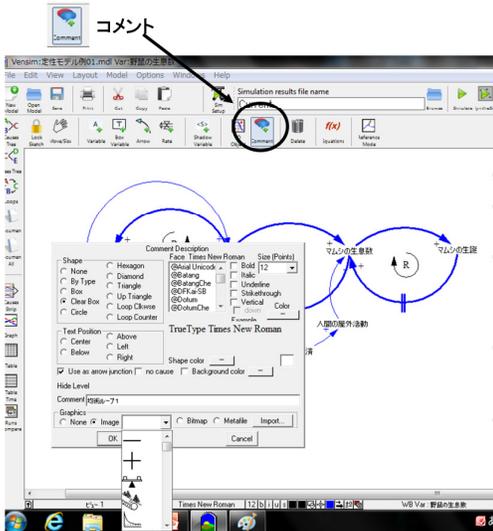
- ・可変モードに切り替えましょう。
- ・矢印のハンドリングあるいは先端にポインターを当て、左クリックをすると矢印の極性を指定する点線の四角いボックスが表示されます。
- ・下のステータス・ツールから極性コマンドを選び極性を指定し、左クリックすることでも指定できます。

図 9-3 : 矢印

ステップ 06 : ループのコメント記載



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。この機能を使って、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、ポインターを、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ーを置き、左クリックをします。すると、「コメント記載ツール」が表示されますので、「形」では「時計廻りループ」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、ポインター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。



- ・コメントを記載します。
- ・定性モデルのスケッチでは、多分多用するのではないのでしょうか。
- ・フィードバック・ループの説明では時計廻り、反時計廻りや増加ループあるいは均衡ループなどの指定を行います。
- ・増加ループは+、R、雪崩アイコン、あるいは増加グラフ・アイコンで表現します。
- ・均衡ループは-、B、シーソー・アイコン、あるいは減少グラフ・アイコンで表現します。

図 9-4 : コメント定義画面

これまでの作業で、図 9-1 に示したような定性モデルが完成します。

9-4. 定性分析

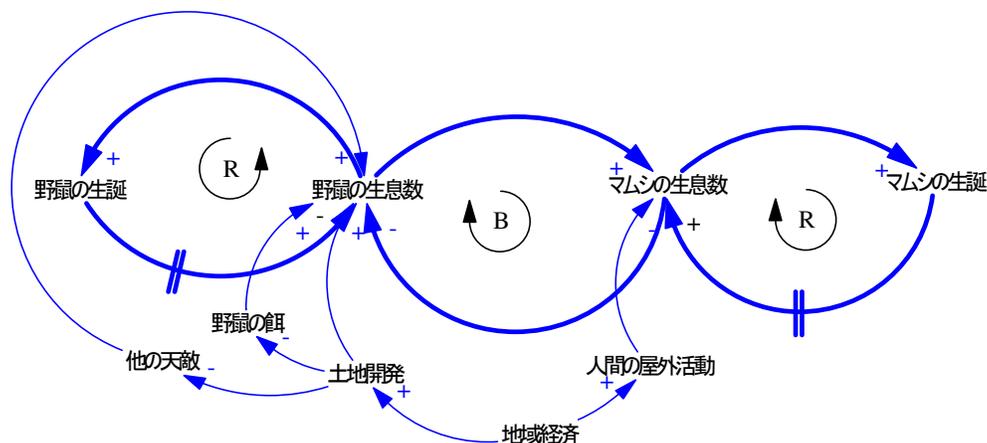


図 9-5：定性モデル

定性モデルで定性分析を実施してみましょう。詳しくは、「システム類型」の参考文献などを参照して下さい。

複数のループが重なり合っていることに注目して下さい。まず、「野鼠の生息数」と「マムシの生息数」の関係が均衡ループであることから自然界では、どちらかが極端に増加や減少することなく、両方が周期を引き起こしながらも、共存が保たれていることを示しています。これは、「マムシの生息数」と「マムシの誕生」が増強関係にあり、食料事情が豊富であれば「マムシの生息数」がどこまでも増加するという変動要因にブレーキをかけていることとなります。そして、野鼠についても同じで、あるヒートアップ状況があっても、自然界では、かならずこういった均衡ループが存在し、秩序が保たれています。図 9-1 では省略していますが、自然破壊などにより野鼠の成育環境が変わり、野鼠の数が変わることや、マムシを忌み嫌い殺害する人間、あるいは捕獲する人間が増えることで、マムシの生息数が減るなどの外的要因がこのモデルに加わり、均衡を保っているこのシステムに外的揺籃が与えられるとマムシが絶滅する可能性があります。従って、定性モデルは図 9-5 のようになると考えられます。つまり、マムシという動物種の生存は、地域経済の動向によって影響され、絶滅する可能性もあることがわかります。こういったシステムの動作を、フィードバック・ループを分析することで理解することができます。

一般的に、矢印が多く集中する要素は、いろんな影響を受けるので、改善しにくい場所です。また、矢印が多く出ていく要素は、リバレッジ・ポイントという、そこを改善すれば一番効率的な場所です。先の図 9-5 のモデルでは、土地開発がそういった部分になると思われれます。ただし、これも一般的に、そういった場所はそう簡単に改善できないし、改善によって思わぬ悪影響が出やすい場所でもあります。そこで、その少し手前の、より確実に改善しやすい場所を選んで、そこからリバレッジ・ポイントを改善するというやり方を採択することがあります。先の例では、地域経済の部分から土地開発のやり方、例えば自然公園的な部分を広く確保するなどの方策を誘導します。

フィードバック・ループのパターンによっては、システム原型に当てはまる場合もあり、そのような場合は、定型的な振る舞いが予想され、もしそうであれば、よく知られている改善方法も存在する可能性があります。定性モデルを簡略化し、最も強いフィードバック・ループだけにすると、システム原型のパターンになることがよくあります。ただ、そうい

った小手先的な改善という点で先入観点で捉えるのではなく、全体を捉えるというやり方が、定性分析はうまく行くと思います。

システム思考に対する誤解：

定性分析は、システム思考と呼ばれているようですが、システム原型との兼ね合いで、少し誤解されているように思います。あるシステム思考の解説書を読んでいたら、問題を、その構成要素に分け、その因果関係でフィードバック・ループがあるモデルを作成し、フィードバック・ループがどのシステム原型になっているかを考え、その当てはまったシステム原型に対する知られている解決策を用いて問題を解決する方法だと書かれていました。

この本の著者が何でそんなことを書いたのか理解に苦しみますが、私自身はこの解釈は間違っているように思います。確かに、センゲは、問題を単純化していくと、システム原型のようなパターンになることがあるので、そのように理解すると問題の本質が理解しやすいとは著書で書いていますが、知られている解決策を当てはめて問題を解くとまでは書いてないように、私は理解しています。

システム思考に関しては、バリー・リッチモンドがとても適切な定義を行っていて、システム思考とは、

- ①対象となる事象の持つ問題、あるいは課題を特定し、
- ②その問題のしくみ（システム）を説明する仮説をモデルとして構築し、
- ③そのモデルを使ってシミュレーションを行い、作成した仮説を検証する

というやり方であると定義しています。

そして、もし、構築されたモデルで、同定した問題と同じ現象が再現できれば、その仮説を正しいものとして受け入れることができる。もし、現象が再現できなければ、どこかそのモデルがあるいは仮説が間違っているのであろうから、

- ⑤モデルを改善し、再度テストを行い、正しいものとして受け入れられるまでに精度を高めていく、
あるいは
- ⑥仮説の妥当性を再考し、妥当な仮説に改善していく。

この方法で、正しいと受け入れられる水準までモデルと仮説が完成したならば、そのモデルを使って、他人とコミュニケーションを行うことができ、お互いの理解に基づき、変化を起こすことができる。

こういった「考え方」や「態度」で物事を進めていくやり方を「システム思考」と呼ぶとしています。私も彼と同じ意見で、システム思考は、先のようなシステム原型に当てはめて問題を解くという手法ではなく、「考え方」だと思っています。

10. 定量モデル構築と定量分析

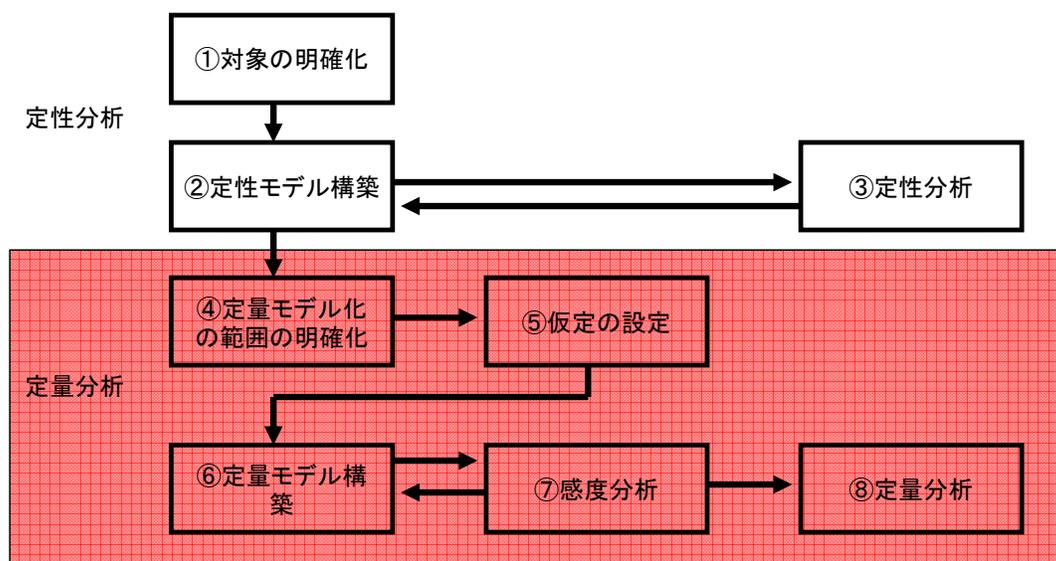


図 2-1 の定性モデルをベースに定量モデルを構築してみましょう。原理的には、定性モデルを詳細化していけば、定量モデルに置換できますが、通常は、そこまでやることには意味がないし、作業も大変なので、定性モデルと定量モデルは違うものと考えて作業を進めます。従って、定性モデルがそのまま定量モデルになるわけではなく、定量モデル構築では、定性モデルで表されたシステムをある意味で解釈することが必要です。また、定性モデルで漠然と仮定されていたことを、明確に仮定条件として設定することも必要です。さらには、モデルはモデル構築者の理解を表しただけのものであり、定量モデルが示すシミュレーション結果と言えども、真実で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 9-5 のうちの図 9-1 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 9-1 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 9-5 のうちの図 9-1 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、最初に何をやるよ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を目的とする：
 - 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。
成体数の半分が雌である。（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 10-1：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 を立ち上げる。

Vensim PLE の画面を立ち上げ。前の 9 章で作成した定性モデルが表示されると思います。

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

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。「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。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、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、「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。

ラムシの生息数

野驢の生息数

図 10-1 : ストックの記載

ステップ 06 : フローの記載



「フロー」アイコンを使い、フロー変数を記載し、ストック変数と結び付けます。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。

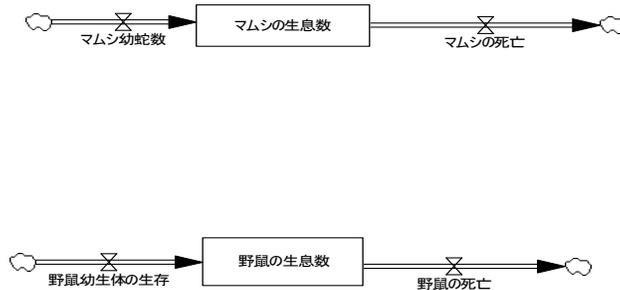


図 10-2 : フローの記載

ステップ 07 : 変数の記載



「変数アイコン」を使って、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。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。ワークベンチに移動後、クリックすると画面に変数指定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。

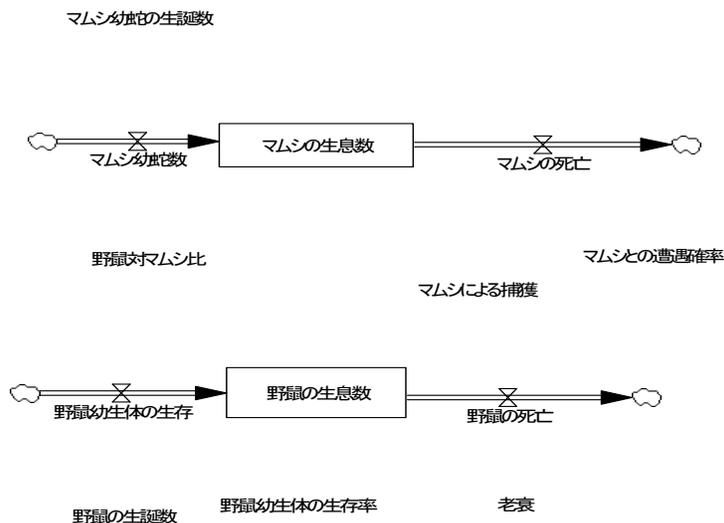


図 10-3 : 変数の記載

ステップ 08 : アロー (矢印)



アロー (矢印) を使って、変数の間をアロー (矢印) で結び付けましょう。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。ワークベンチに移動後、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。

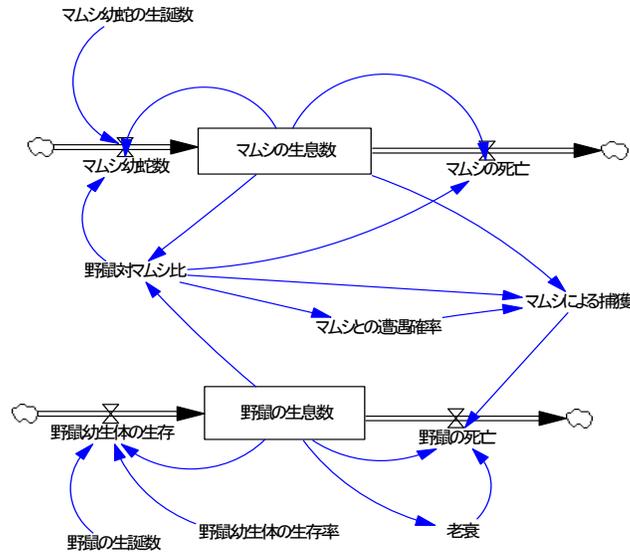


図 10-4 : 矢印でパラメーターを結合する

ここまでの作業が完了すると図 10-4 のようなモデル図が完成します。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→野鼠幼生体の生存→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



「方程式」アイコンを使い、変数を定義します。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、方程式定義ツール画面が現れます。パラメーターへの等式や定数定義には、ストック、フロー及び変数、定数、そしてテーブル関数の 3 種類あります。

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

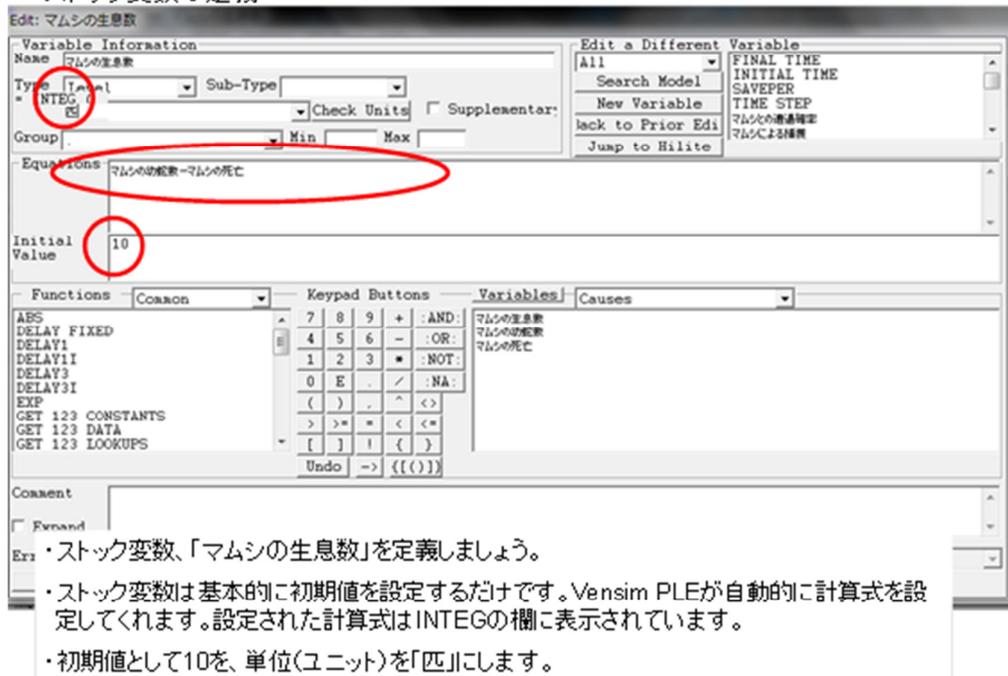
野鼠の生息数= 野鼠幼体の生存-野鼠の死亡、初期値 500

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。

図 10-5 にストック変数、「マムシの生息数」の定義画面が示されています。ストック変数では、Vensim PLE が自動的に計算式を設定してくれるので、基本的に初期値に「10」を設定するだけです。設定された計算式は INTEG の欄に表示されています。

同じように、図 1-6 にストック変数、「野鼠の生息数」の定義画面が示されています。初期値に「500」を設定します。

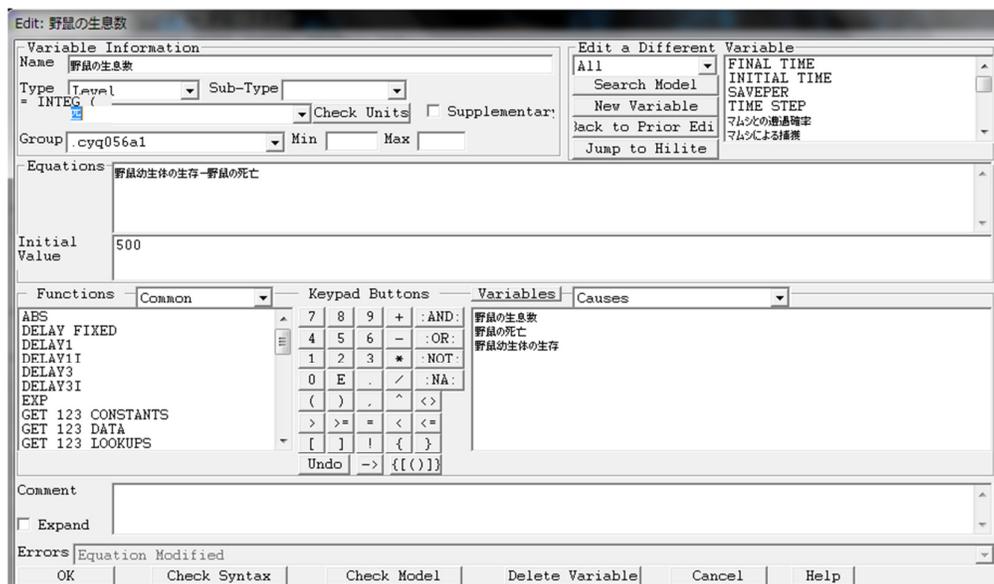
ストック変数の定義



Err: ストック変数、「マムシの生息数」を定義しましょう。

- ・ストック変数は基本的に初期値を設定するだけです。Vensim PLEが自動的に計算式を設定してくれます。設定された計算式はINTEGの欄に表示されています。
- ・初期値として10を、単位(ユニット)を「匹」にします。

図 10-5 : ストック、「マムシの生息数」の定義画面



Errors Equation Modified

OK Check Syntax Check Model Delete Variable Cancel Help

- ・ストック変数、「野鼠の生息数」を定義しましょう。
- ・初期値として500を、単位(ユニット)を「匹」にします。
- ・すでに単位の中には「匹」も設定されていると思いますので、これを選択します。

図 10-6 : ストック、「野鼠の生息数」の定義画面

・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 ず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。

Variable Information

Name: マムシの幼蛇数

Type: Auxiliary Sub-Type: Normal

Equations: DELAY FIXED(IF THEN ELSE(野鼠対マムシ比>10, ((マムシの生息数/2)* マムシ幼蛇の生誕数), 0), 3, 0)

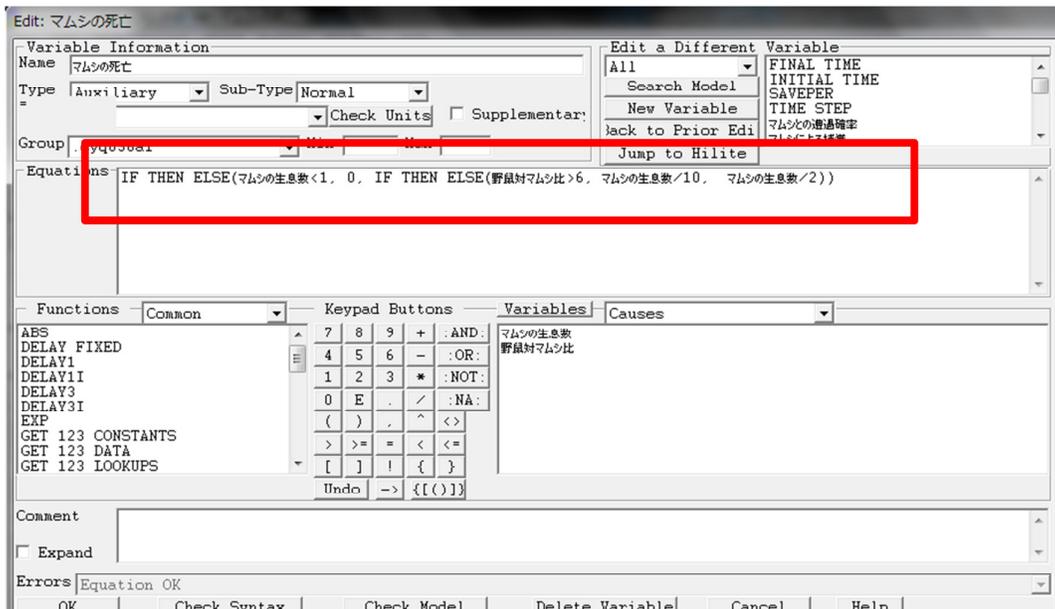
Functions: Common Keypad Buttons Variables Causes

Comment

Ex

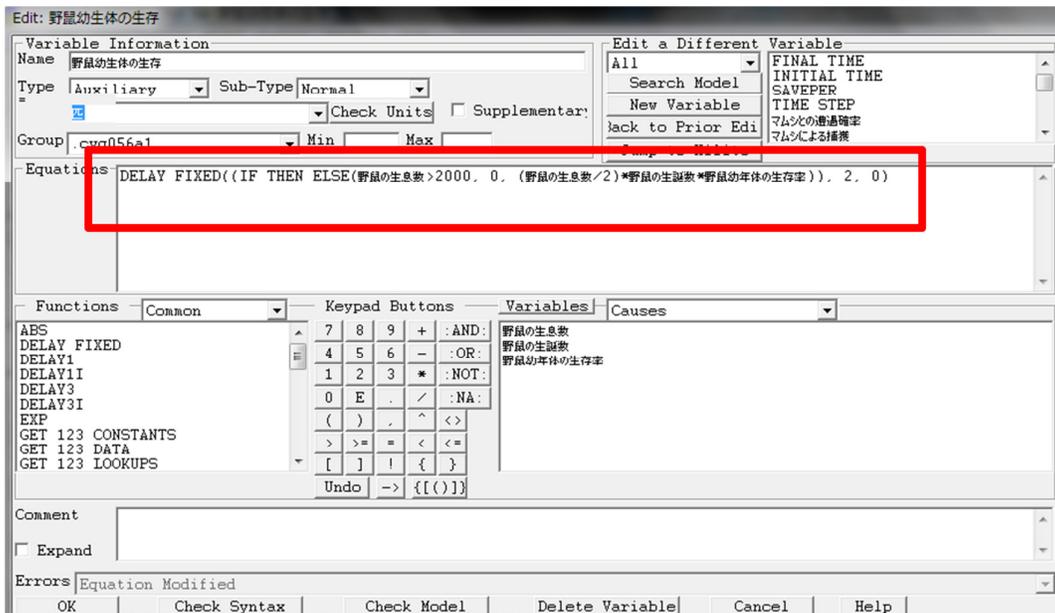
- ・フロー変数を定義します。フロー変数の定義も変数の定義もやり方は同じです。
- ・フロー変数、「マムシの幼蛇数」を定義しましょう。
- ・「野鼠対マムシ比」が10以上の時に、「マムシの生息数」の半分(雌)が「マムシ生誕数」で指定された数の幼蛇を生み、幼蛇は3年の遅延で「マムシ生息数」に加わります。

図 10-7 : フロー、「マムシの幼蛇数」の定義画面



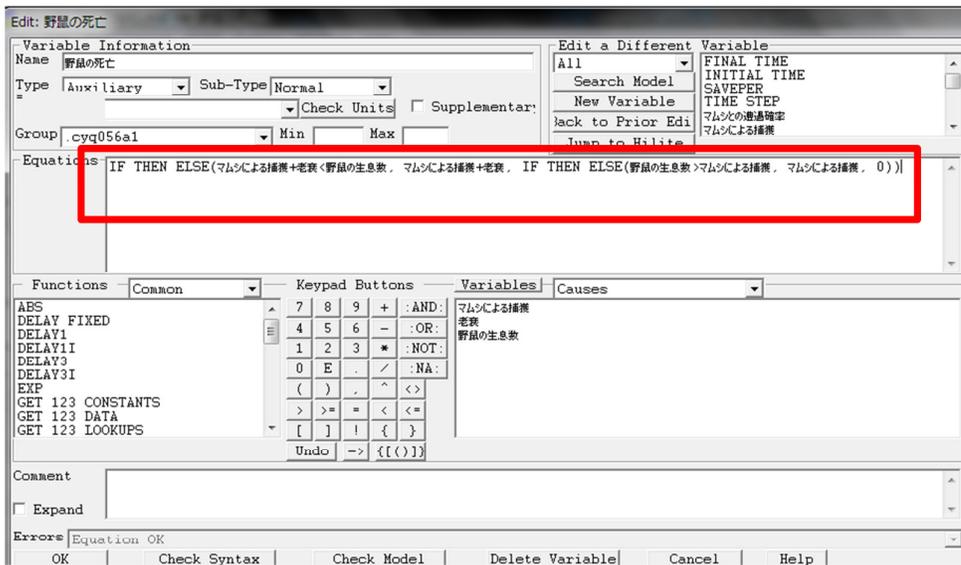
- ・フロー変数、「mamushi no shisi」を定義しましょう。
- ・「wildmouse to mamushi ratio」が6より大きい時に、「mamushi no shisugoto」の1/10が老衰で死亡、それ以外、つまり6以下の場合、餓死により半数が死亡します。

図 10-8 : フロー、「mamushi no shisi」の定義画面



- ・「wildmouse no shisugoto」の半分(雌)が「wildmouse no shisugoto」で指定された子供を生まみます。
- ・生まれた子供は、「wildmouse no shounen tai no shisei」で指定された率で生き残り、2年の遅延で、「wildmouse no shisugoto」に加わり、このうちの半数が雌として子供を生まみます。
- ・生息数が2,000匹を超えたら、対象地域の外に拡散するので、子供はもう生まれないとします。

図 10-9 : フロー、「wildmouse no shounen tai no shisei」の定義画面

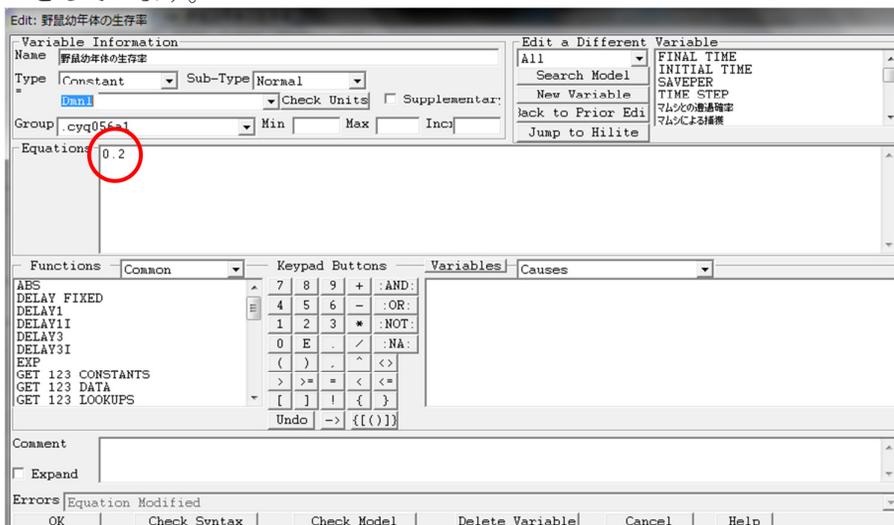


- ・最後のフロー変数、「野鼠の死亡」を定義しましょう。
- ・「マムシによる捕獲」と「老衰による死亡」の合計数を「野鼠の死亡」の数とします。
- ・ただし、「マムシによる捕獲」と「老衰による死亡」の合計数が「野鼠の生息数」よりも大きい場合は、「マムシによる捕獲」数までとします。

図 10-10：フロー、「野鼠の死亡」の定義画面

・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。



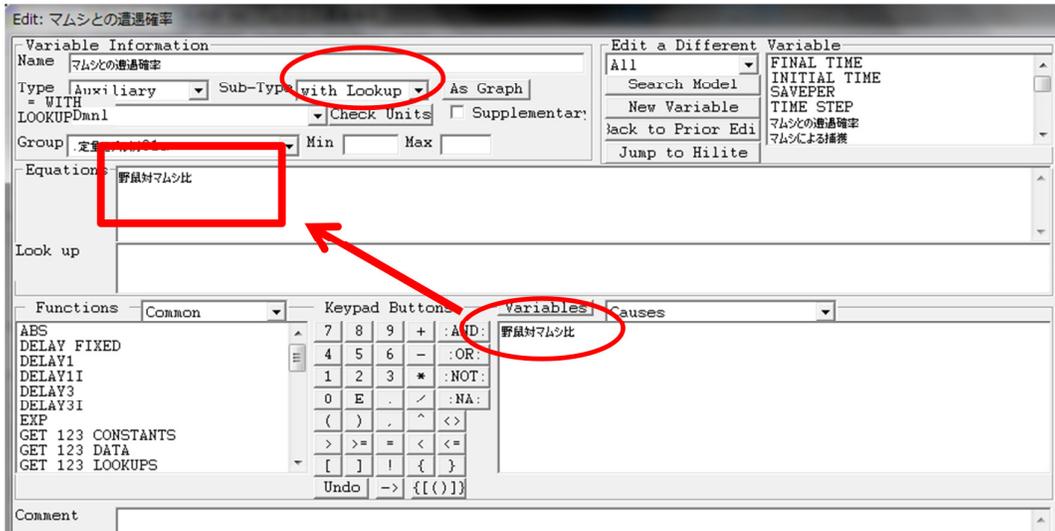
- ・定数、「野鼠幼生体の生存率」を定義しましょう。
- ・20%と仮定し、0.2にします。
- ・単位は無単位(DML: dimension less)です。

図 10-11：定数、「野鼠幼生体の生存率」の定義画面

・テーブル関数：

マムシとの遭遇確率

[(0,0)-(24,40)],(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)



- ・E テーブル関数、「マムシとの遭遇確率」を定義しましょう。
- Err
- ・方程式定義画面で、タイプの欄からLookupを選びます。
- ・画面が変わります。Equationに引数を指定します。
- ・次にグラフ入力ボタンを押します。

図 10-12：テーブル関数、「マムシとの遭遇確率」の定義画面

変数定義画面で「タイプ」の欄を「補助変数」及び「with Lookup」にし、「グラフ入力」をクリックすると、右にしめたような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。すると左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 値を指定することでもテーブル関数は指定できます。

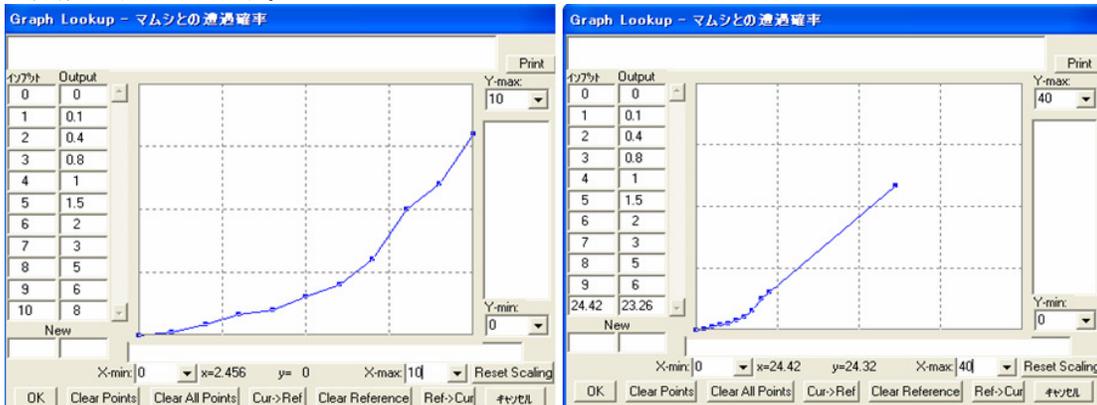
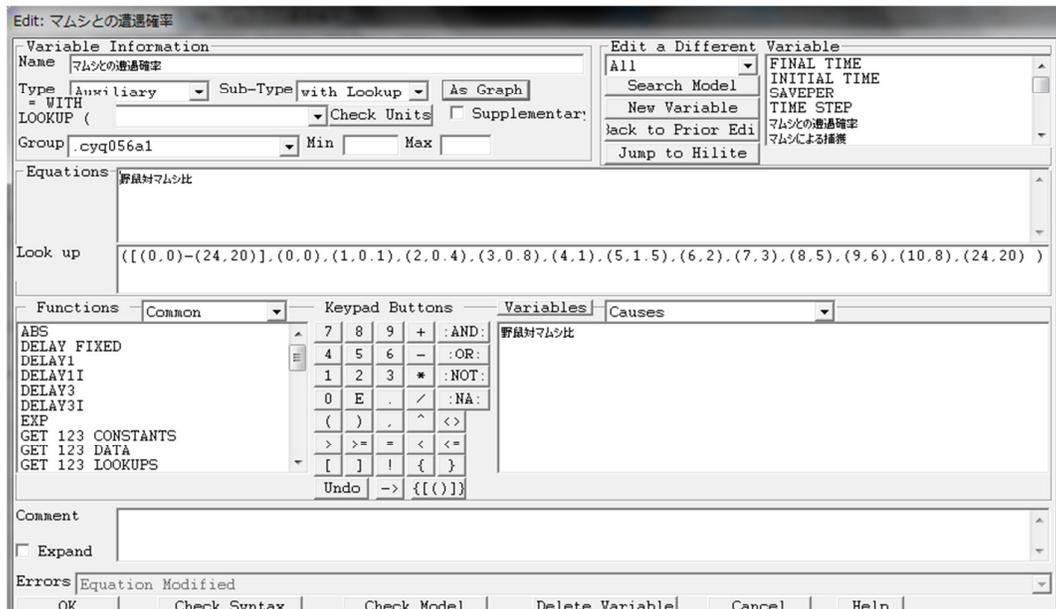


図 10-13：テーブル関数、「マムシとの遭遇確率」の定義画面

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(24,20)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(24,20)になるように加工しています。



- ・「Look up」にグラフで指定した「野鼠対マムシ比」が表示されます。
- ・この画面でOKを選択し、定義を終了させます。

図 10-14 : テーブル関数、「マムシとの遭遇確率」の定義画面

・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



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。

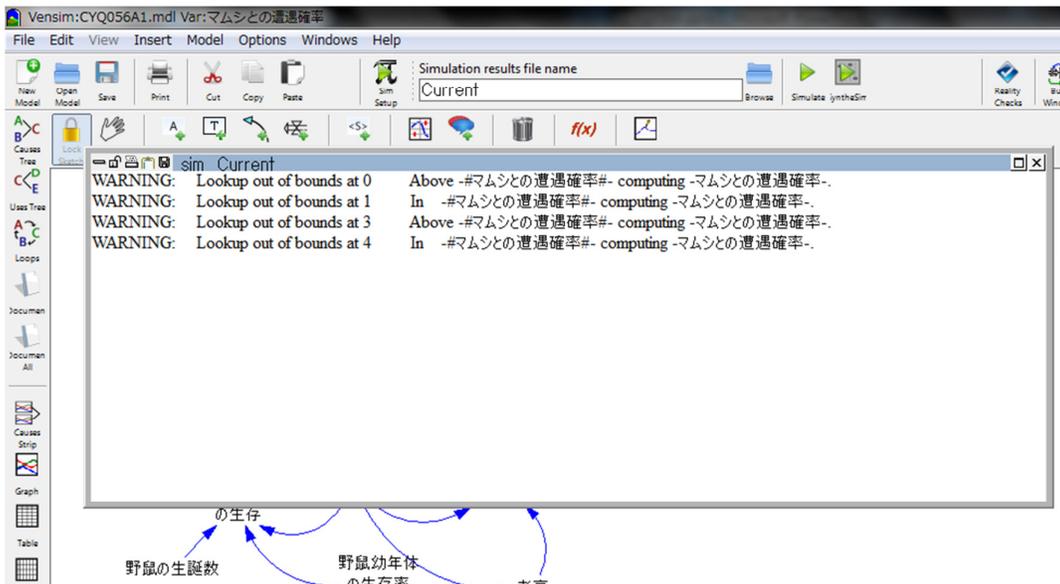


図 10-15：表示されたワーニング・メッセージ

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。ワーニングの意味は時間 0、3 で、「マムシとの遭遇確率」に指定された値以上の異常値が入力されたため、出力時 1、4 でテーブル出力値がおかしくなっていますという意味です。

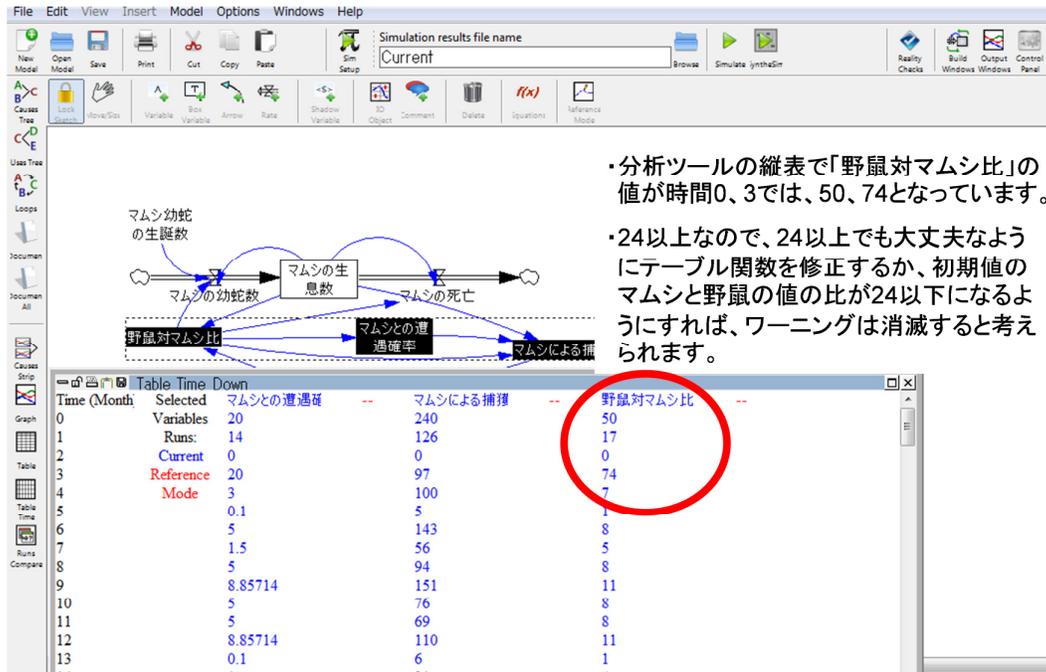
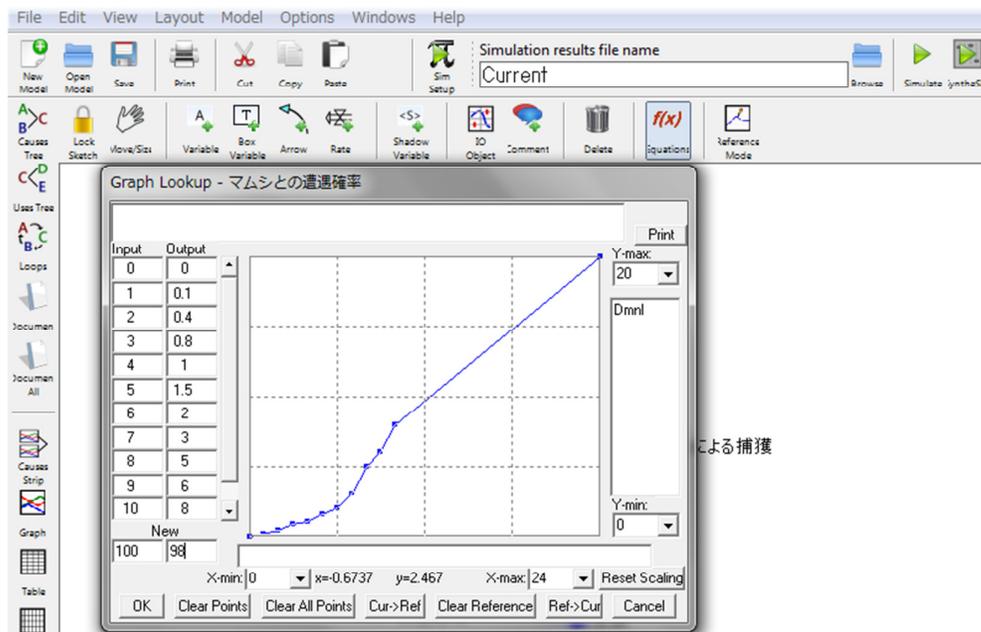


図 10-16：ワーニングの原因の究明

分析ツールの縦表で「野鼠対マムシ比」の値を表示させたものが図 10-16 です。時間 0、3 では、50、74 となっています。ところが、「マムシとの遭遇確率」の定義では x 軸で 24

までしか定義していません。0 時間で 50、3 時間で 74 は明らかに 24 より大きな数字です。マムシと野鼠の初期値を変えて、比が 24 以下になるようにするか、それとも、「マムシとの遭遇確率」の定義を変えて、74 まで耐えられるようにするかの変更で、このエラーに対応できるはずですが。

方程式の定義に戻り、「マムシとの遭遇確率」で、グラフ入力画面を開き、Y-max、X-max 共に 100 まで範囲を広げ、ポインターを使って(24, 23)を(100, 98)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みて下さい。今度は、ワーニング・メッセージは出ないはずですが。



- ・方程式のコマンドで「マムシとの遭遇確率」のテーブル関数を呼び出します。
- ・グラフで表示させます。
- ・ここでは、Inputで100に対して、Outputで98とします。こうして、入力値が100まで大丈夫なように修正を加えます。

図 10-17：テーブル関数の修正

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 9-1 の定性モデルでは、「マムシの生誕」→「マムシの生息数」の増強ループがあります。「マムシの生息数」にポインターを当て左クリックして反転させ、「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。「マム

シの幼蛇数」→「マムシの生息数」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。

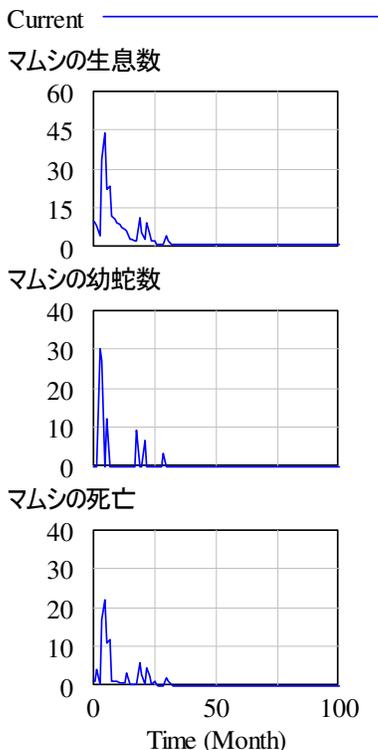


図 10-18：直接原因グラフによる変動パターンのチェック

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。「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。

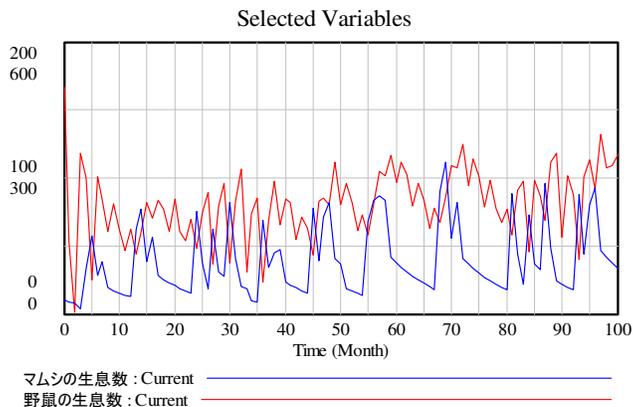
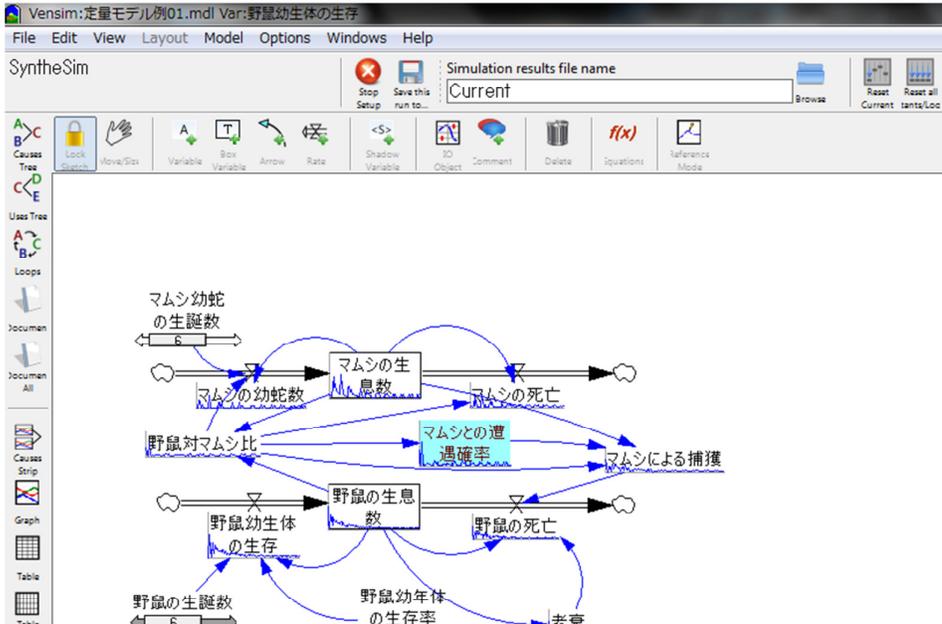


図 10-19：単独グラフによる変動パターンのチェック

ステップ 02 : 感度分析の実行

③の「メイン・ツール・バー」から「統合シミュレーション実行」と「SyntheSim」のアイコンを選択します。すると、図 10-20 のような統合シミュレーションの画面が表示されます。



・SyntheSim を押すと、このような画面に変わります。変更可能な入力パラメーターがスライダバーに変わります。ポインターを使ってスライスすることで値を自由に変えられます。シミュレーション結果は、リアルタイムで出力パラメーターの上に小さなグラフで表示されます。こうして、入力値の違いでシミュレーション結果がどう違って来るかをチェックできます。

図 10-20 : 統合シミュレーション

画面 3 段目に統合シミュレーションのツール・バーが表示されます。

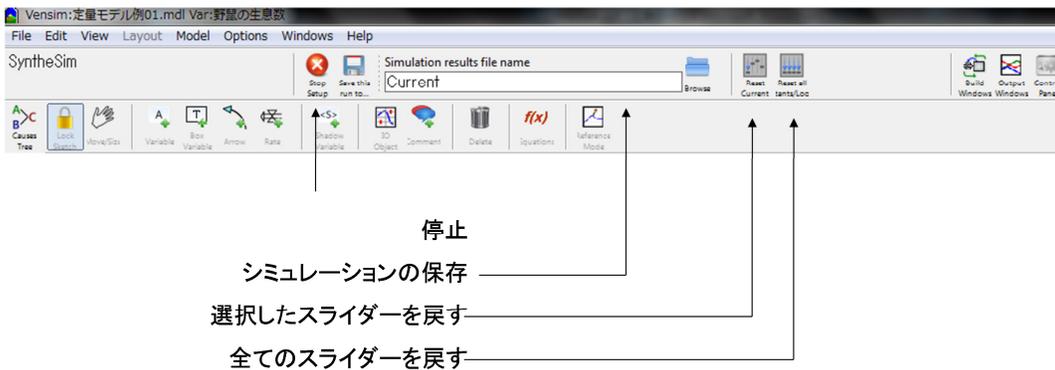


図 10-21 : 統合シミュレーションのツール・バー

変数の上に簡略化したグラフが表示され、また、定数に変更用のスライダーが表示され、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。

統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。もどさないと、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 10-20 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、「3」、「6」、「7」、「8」、「12」といった数字に変えてみて、シミュレーション結果がどうなるかを確かめてみて下さい。

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、「マムシの生息数」をグラフ表示させてみましょう。②メニュー・ツールから「モデル」を選び、シミュレーション実行条件画面で、時間単位を「年」に変えておいて、再度シミュレーションして下さい。

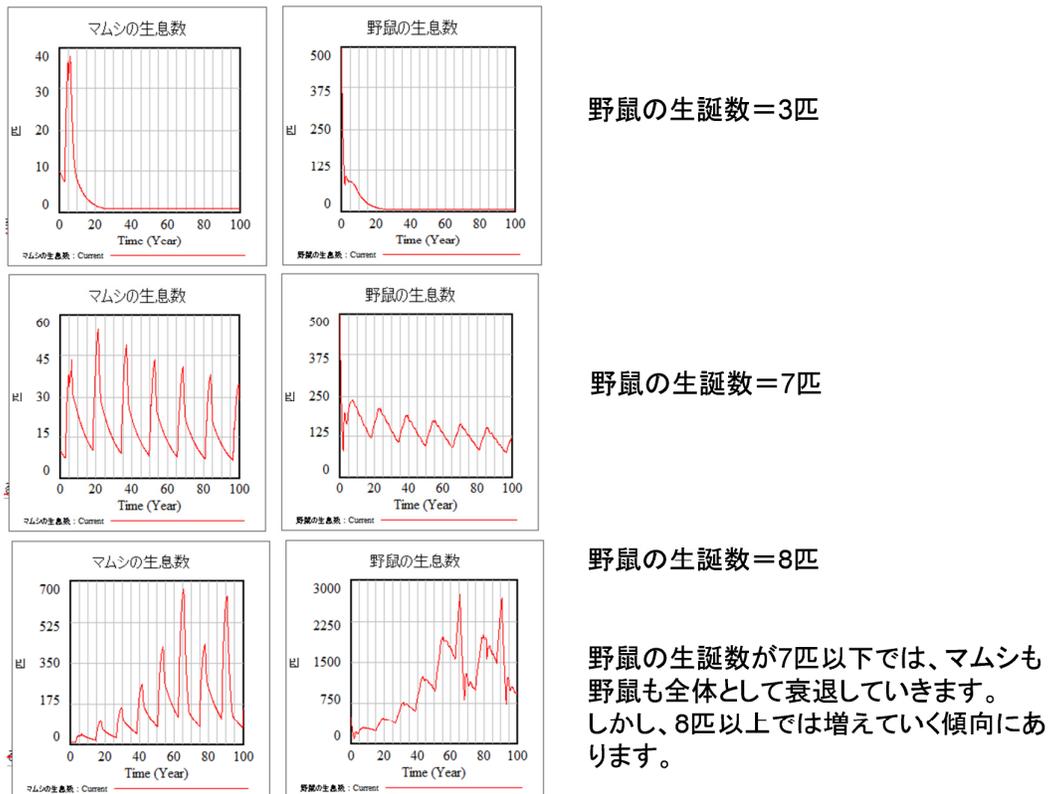


図 10-22：感度分析

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 10-8「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 10-22「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 10-22 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たり、死亡率を変化させることもできます。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・ダイナミク

クによる定量シミュレーションの醍醐味です。

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、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ベースにしたものです。

最後に、ここで取り上げた定量モデルの定義式は以下の通りです：

- (01) FINAL TIME = 100
Units: Year
The final time for the simulation.
- (02) INITIAL TIME = 0
Units: Year
The initial time for the simulation.
- (03) SAVEPER = TIME STEP
Units: Year [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (04) TIME STEP = 0.125
Units: Year [0,?]
The time step for the simulation.
- (05) マムシとの遭遇確率 = WITH LOOKUP (野鼠対マムシ比, [(0,0)-(100,100)], (0,0), (1,0.1), (2,0.4), (3,0.8), (4,1), (5,1.5), (6,2), (7,3), (8,5), (9,6), (24,20), (100,98))
Units: **undefined**
- (06) 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))
Units: 匹
- (07) マムシの幼蛇数 = DELAY FIXED (IF THEN ELSE (野鼠対マムシ比 > 10, ((マムシの生息数 / 2) * マムシ幼蛇の生誕数), 0), 3, 0)
Units: 匹
- (08) 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, マムシの生息数 / 10, マムシの生息数 / 2))
Units: 匹
- (09) マムシの生息数 = INTEG (マムシの幼蛇数 - マムシの死亡, 10)
Units: 匹
- (10) マムシ幼蛇の生誕数 = 6
Units: 匹
- (11) 老衰 = IF THEN ELSE (野鼠の生息数 < 0, 0, INTEGER(野鼠の生息数 / 5))

- Units: 匹
- (12) 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))
- Units: 匹
- (13) 野鼠の生息数= INTEG (野鼠幼生体の生存-野鼠の死亡,500)
- Units: 匹
- (14) 野鼠の生誕数=7
- Units: 匹
- (15) 野鼠対マムシ比=INTEGER(ZIDZ(野鼠の生息数, マムシの生息数))
- Units: **undefined**
- (16) 野鼠幼年体の生存率=0.2
- Units: **undefined**
- (17) 野鼠幼生体の生存=DELAY FIXED((IF THEN ELSE(野鼠の生息数>2000, 0, (野鼠の生息数/2)*野鼠の生誕数*野鼠幼年体の生存率)), 2, 0)
- Units: 匹

経営フライト・シミュレーター：

経営フライト・シミュレーターという大げさですが、定量モデルを構築した後、他の人がいろいろモデル上のパラメーター値を変えて、シミュレーションしてみれるようにしようというものです。入出力オブジェを使って作り、そのやり方は21-27ページに記載してありますが、確かに、こうした方法で、広く他人に定量モデルを解法し、いろんなことを確かめられるようにした方がいいということは実感します。

私の場合、定性モデルを、参加型で構築しているということもあり、定性モデルを巡って、関係者でいろいろ議論することはあるのですが、参加型で定量モデルまでは作ることができなく、定量モデルをもとに関係者でいろいろ議論することがなかなかできないことが悩みの種です。概ね、私からのシミュレーション結果を見せての一方的な説明に終わり、細かい質問はあるのですが、根本的なことに係る反論と異論がその場では一切なく、あとでいろいろ言われていて、私の結論が採択されていなかったなどという結果からそのことを知っていやな気分になることがしばしばあります。こういったことを回避するためには、定量モデルの説明を行い、関係者にさわらせる、本人に納得くさせることが重要とは理解していますが、なかなか難しいのが現状です。

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。
- 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。ただ、アイコンなどは古い Vensim PLE のバージョンのままです。
- 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。
- 5) 日本未来研究センター
アクロバット・ファイル形式の日本語版操作マニュアルやモデリング・ガイドを提供しています。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) システム・ダイナミクスの入門書や入門コース

- 6) 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。2014年に、日本システム・ダイナミクス学会との共催で、本書をテキストに使った SD 入門セミナーを実施していて、そのセミナーの内容を日本語でまとめたものがあります。
- 7) 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。
- 8) 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。
- 9) SD 入門セミナー
筆者が実施しているものです。すでに数回実施しています。お申込みいただければ、過去のセミナーの内容をまとめたものとセミナーで使ったモデルを提供します。

(3) システム思考の入門書など

- 10) 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。
- 11) 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。

(4) 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、本入門をベースにした自習用パワーポイント、本入門で取り上げた定量モデル、「定量モデル例 01」や、日本システム・ダイナミクス学会と共催で実施した SD 入門セミナーの内容をまとめたものや、そこで使ったモデルを差し上げます。モデルは、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、2014 年 4 月 1 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