

Vensim PLE チュートリアル

(1)はじめに

すでに Vensim PLE のチュートリアルを書いているのですが、取り上げている題材が不評で、さらには、システム思考のモデルの作り方、つまり定性モデルの構築と定性分析も書いているので、分量が多すぎ、まだるっこい、もっと定量モデル構築と定量分析に絞ったチュートリアルが欲しいという要望がありました。Vensim PLE もその後バージョン・アップされ、アイコンも変わったので、先の要望を勘案し、新しい、かつもっとボリュームを減らし、Vensim PLE の操作に絞ったチュートリアルを書きました。

なお、このチュートリアルは、2014 年 5 月に実施した、「システム思考、システム・ダイナミクス入門セミナー」をもとにしています。コメントや感想を寄せていただいた参加者に感謝します。

野鼠が生態している状況を想定しています。ここでは、周囲 10km 程度の日本の里山、本州の中央部といった環境に住む野鼠です。野鼠には天敵もいますが、ここではモデル簡略化のために、特に天敵が何なのかを想定していないで、天敵がいて、捕食するとしています。

さて、こういった環境にある野鼠は、どのくらいの出生数であれば、数を安定していけるのでしょうか？

この疑問を解くために、定量モデルを開発し、出生数の違いによってどう野鼠の数が変化していくかを探ります。

なお、野鼠の生育条件を 1 年としているなど、私の勝手な憶測で進めていますので、実際には生育期間はもっと短いのかもしれませんし、捕食率ももっと高いのかも知れません。予め、お断りしておきます。

(2)チュートリアルのモデル

今回のチュートリアルで用いるモデルは図 1 のようなものです。パラメータは 6 つしかなく、そのうち 3 つは定数です。

- ・野鼠の成体の半分が雌で、この雌が、平均出産数として決めた数の子供を産みます。
- ・生まれた子供は、1 年（12 ヶ月）で成体になります。
- ・ただし、成体になるのは生まれた野鼠のうち 20% だけです。

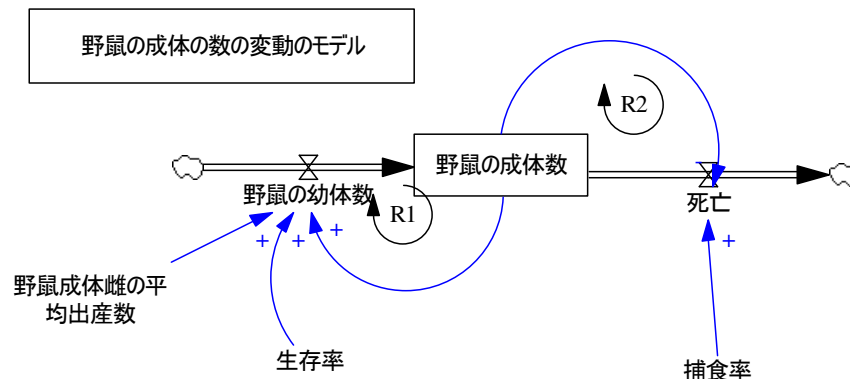


図 1：野鼠のモデル

- ・成体になった野鼠は、天敵によって殺されます。30%が天敵によって捕食されます。

・天敵を逃れても、野鼠は5年しか寿命がありません。

こういったモデルで、野鼠の数が安定する生誕数を求めることを考えます。

モデルの式は以下のようなものです。赤で示した6つの等式が指定する項目です。

(01)FINAL TIME = 100

Units: 月

The final time for the simulation.

(02)INITIAL TIME = 0

Units: 月

The initial time for the simulation.

(03)SAVEPER = TIME STEP

Units: 月 [0,?]

The frequency with which output is stored.

(04)TIME STEP = 1

Units: 月 [0,?]

The time step for the simulation.

(05)捕食率=0.3

Units: Dmnl

(06)死亡=IF THEN ELSE(野鼠の成体数>100, 野鼠の成体数*捕食率+(野鼠の成体数/5), (野鼠の成体数/5))

Units: 匹

(07)生存率=0.2

Units: Dmnl

(08)野鼠の幼体数=DELAY FIXED((野鼠の成体数/2)*野鼠成体雌の平均出産数*生存率, 12,0)

Units: 匹

(09)野鼠の成体数= INTEG (野鼠の幼体数-死亡,500)

Units: 匹

(10)野鼠成体雌の平均出産数=5

Units: 匹

シミュレーションの単位は月です。私のコンピュータでは、自動的に Vensim PLE の初期値は月に、開始時間は 0 (月)、終了時間は 100 (月)に、刻み時間単位は 1 (月)に、計算方法はオイラー法に設定されていますので、この自動設定された初期値や計算方法をそのまま使います。

(3)Vensim PLE のモデル設計画面の説明

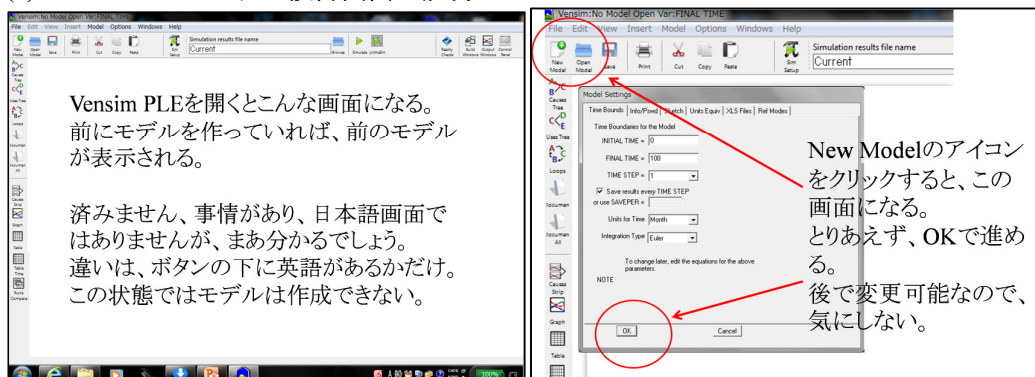


図 2 (左) : Vensim PLE 初期画面、図 3 (右) : New Model のアイコンを押した状態

Vensim PLE をスタートさせると、図 2 のような画面が現れます。以前にモデルを作っていたら、そのモデルが表示されるのですが、初めての場合は、中央は空白になります。この状態では、モデルは作成できません。

画面の上から 3 段目にある **New Model** のアイコンをクリックすると、モデルをシミュレーションする際の条件定義の画面が現れ、図 2 のようになります。ここでは、私の Vensim PLE では、開始時期=0、終了時期=100、時間刻み=1、時間単位=月、計算方法=オイラー法となっていますので、このままの初期値を使います。OK ボタンを押すと、図 4 のように、スケッチ・バーとステイタス・バーが現れ、モデルを作成できるようになります。定性モデルを作成する場合は、シミュレーションを行うわけではないので、このようなシミュレーション条件を指定する画面定義は不要のように思われるでしょうが、一応、通過すべき手続きとして、OK ボタンでモデル作成画面に進んで下さい。また、ここで指定したシミュレーション条件は、後で変更できますので、あまりこの定義にここで拘る必要はありません。

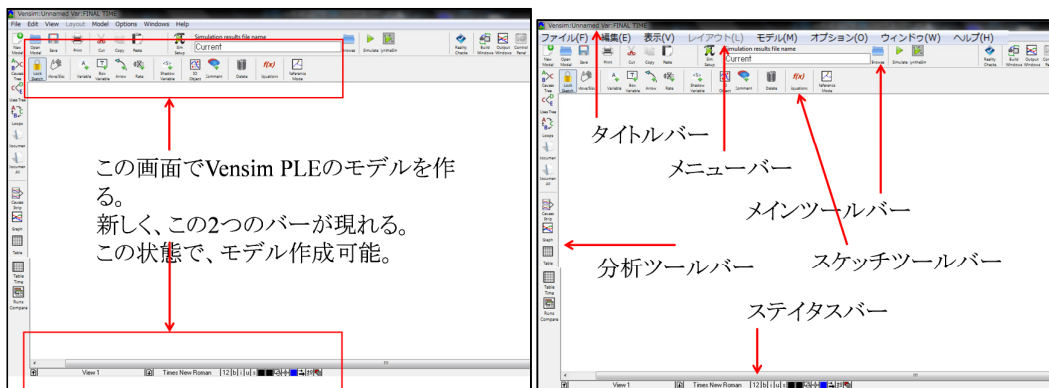


図 4 : モデル作成画面 (左)、図 5 : モデル作成画面 (右)

図 5 は、図 4 と同じ画面です。ここで、ツールやメニューについて説明します。画面の一番上はタイトルバーで、作成するモデルのファイル名が記載されます。ここでは、Vensim PLE を立ち上げ、New Model ボタンを押したばかりで、まだ何もモデルを作成していないので、Vensim:Unnamed Var:FINAL TIME と記載されています。もし、すでに作成されたモデルのファイルを読み込んでいたり、あるいはモデルを作ってファイル名を指定していれば、ここにはそのモデルのファイル名が表示されます。

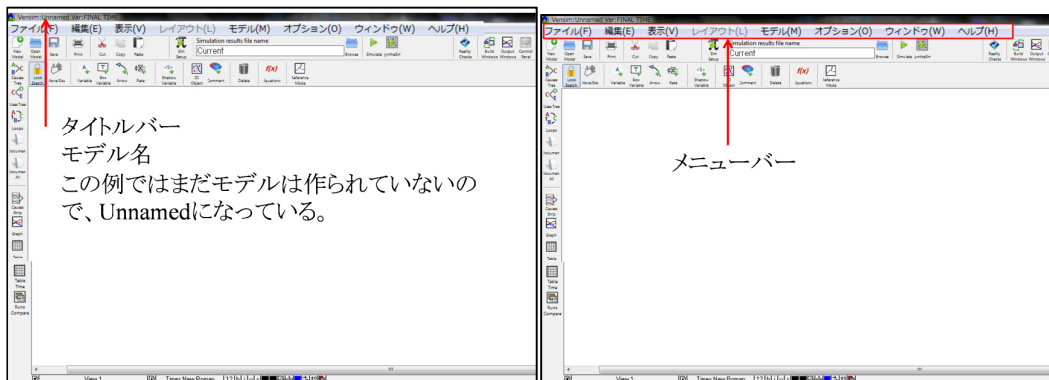


図 6 (左) : タイトルバー、図 7 (右) : メニュー・バー

2 番目はメニュー・バーで、ファイルの読み込み、保存、コピー、貼り付けなどの機能が、

プルダウン・メニューによって利用できます。

3 番目は、メインツール・バーで、やはりモデルの保存、コピー貼り付けなどの機能に、シミュレーション実行ボタン、シミュレーション結果を保存するファイル名の指定などを行うことができます。

4 番目は新しく現れたバーで、スケッチ・ツール・バーと呼ばれる、モデルを描いたり手義したりする際に使うボタンが並べられています。

画面下のバーも新しく現れたバーで、ステイタス・バーと呼ばれています。ここでは、字体、色などの細かい指定を行うことができます。

画面左は分析ツール・バーと呼ばれ、モデルの分析やグラフ表示、表表示などが行えます。

1)メニュー・バー

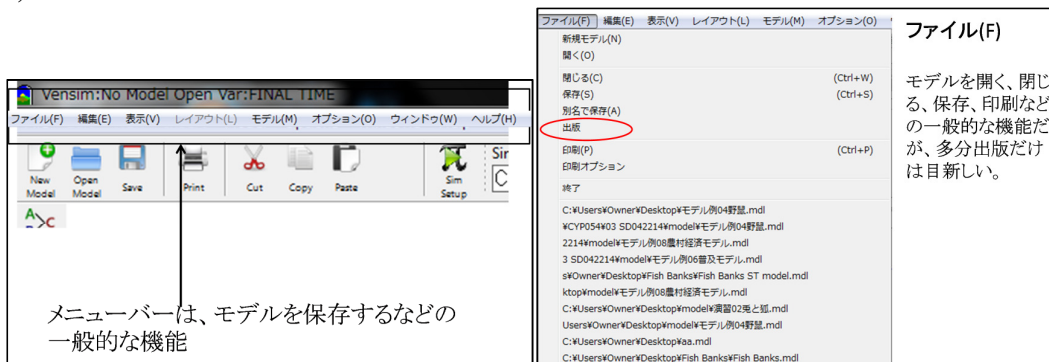


図 8 (左) : メニュー・バー、図 9 (右) : ファイル (F)

メニュー・バーで、最初のボタンは「ファイル(F)」です。このプルダウン・メニューを開くと、図 9 のようになり、新規モデル作成、モデルを開く、閉じる、保存、印刷などの機能が示されています。ここで、「出版」以外は、多分、他のソフトでもお馴染みでしょうから、説明を省き、「出版」についてだけ説明します。

「出版」を選ぶと、図 10 のような画面が現れます。ここで、読み込み方法を選ぶことができ、Model Reader だけにチェックを入れ、その他を外すと、Vensim から無料で提供されている、Model Reader というソフトのみで閲覧でき、モデルの加工や修正などはできなくなります。他の人に閲覧だけの目的でモデルを提供する場合に使います。

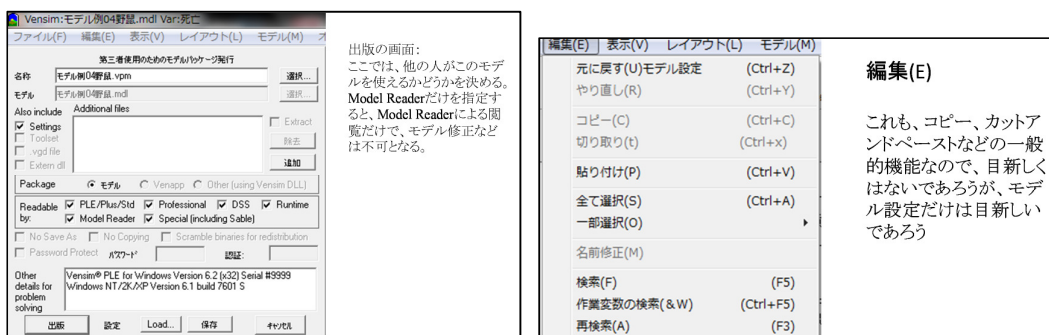
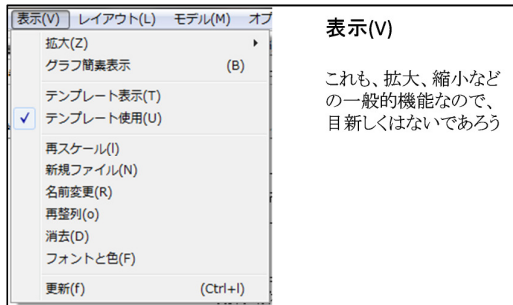
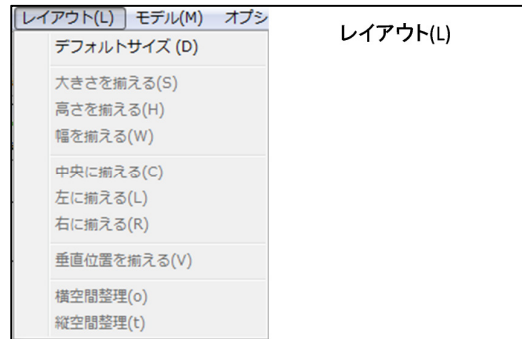


図 10 (左) : 出版、図 11 (右) : 編集 (E)

編集 (E) は、コピー、貼り付け、検索などの機能で、これも他のソフトでお馴染みの機能でしょうから、説明を省略します。



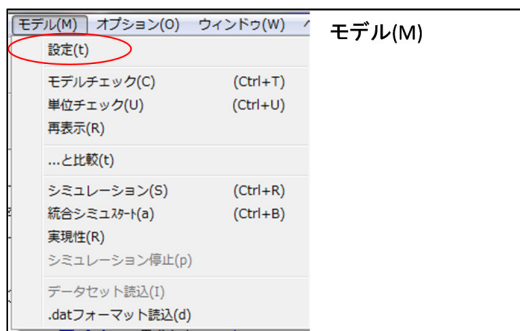
表示(V)
 これも、拡大、縮小などの一般的機能なので、目新しくはないであろう



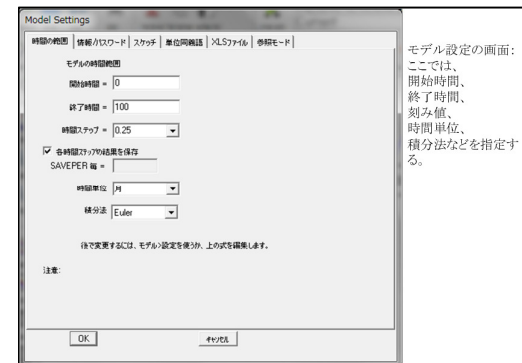
レイアウト(L)

図 12 (左) : 表示(V)、図 13 (右) : レイアウト(L)

同じく、表示、レイアウトも見れば分かる機能としますので、説明を省略します。



モデル(M)



モデル設定の画面:
 ここでは、開始時間、終了時間、刻み値、時間単位、積分法などを指定する。

図 14 (左) : モデル(M)、図 15 (右) : モデル・シミュレーション条件画面

モデル・ボタンでは、モデルの単位チェックなどの項目がありますが、Vensim PLEは特に単位がうるさいわけではないので、単位を全く指定しなくともモデルはシミュレーションできます。ここで、設定(t)を選ぶと、前に New Model ボタンを押した時と同じ、シミュレーション条件定義画面が出ます。ここでいつでもシミュレーションの条件変更ができますので、先に、New Model のボタンを選んだ際に、そこではあまり拘る必要がないと申し上げた所以です。この画面で、開始時間、終了時間、時間刻み幅、時間単位そして、計算方法が指定できます。計算方法は、オイラー法とルンゲ・クッタ法のどちらかを選ぶことが可能です。実はソフトは、シミュレーションにおいて積分計算をしているのではなく、差分法で計算しています。コンピュータでは無限を取り扱えないので、差分法に置き換えて計算します。この際に、オイラー法とルンゲ・クッタ法のどちらかを選ぶことが可能です。オイラー法は、計算は早いのですが、計算方法が荒いので、時間刻みが大きい場合、この誤差が問題になることがあります。これを防止するためには、時間刻みを小さくして計算すればいいのですが、そうすると計算時間がかかってしまいます。この欠点を補うために考慮されたのがルンゲ・クッタ法ですが、離散的な計算を行わせようとするエラーになったり、大きな誤差が出たりします。従って、DELAY 関数がモデルにある場合などにはルンゲ・クッタ法は不適切です。通常はオイラー法にしておくのがいいでしょう。近年のコンピュータは計算速度が飛躍的に向上しているので、時間刻みを小さくしても、シミュレーション実行にはそう計算時間がかからなくなっています。あまり古いコンピュータを使っていない限りは、オイラー法で十分と思います。

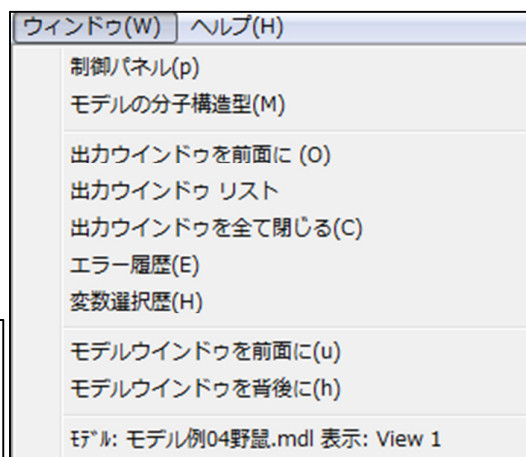
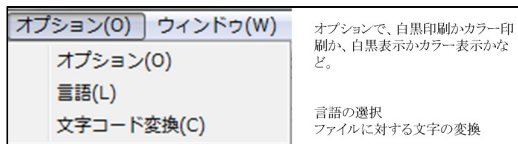


図 16 (左) : オプション(O)、図 17 (右) : ウィンドウ(W)

オプションでは、印刷を白黒にするのかカラーにするのか、あるいは使用する言語などが選択できます。Vensim PLE を最初に立ち上げた時は英語表示になっているので、日本語表示にしたい場合は、言語で「Japanese」を選び、一旦終了させ、再度 Vensim PLE を立ち上げれば、日本語になります。ただ、メニュー・バーは日本語になっても、スケッチ・バーや分析バーは、ボタンのアイコンは識別できても、その下にある文字が化けて認識できない状態になると思いますので、「オプション(O)」のメニューから「オプション」を選び、「全域オプション選択」の画面下にある、「アイコンラベル」のチェックを外して下さい。ただ、これを外すと、英語版で表示されていたアイコンの下の英文文字が消えてしまいます。(図 18)

言語が英語でも日本語でも、どちらでも、モデルの変数名に日本語は使えますし、モデル名にも日本語は使えます。私は、外国人に SD を教えている関係で、日本語モードは不便なので、英文モードのまま使っています。

メニュー・バーの最後はヘルプ画面です。ここから Vensim PLE のマニュアルを呼び出し閲覧することができます。ただし、残念ながら閲覧できるのは英文です。翻訳された日本語版マニュアルが JFRC の HP で公開されていますので、必要な方はそちらをダウンロードして下さい。Vensim の英文マニュアルは、以前は pdf ファイルで提供されていましたが、現在は、このオンラインでの提供だけになっています。

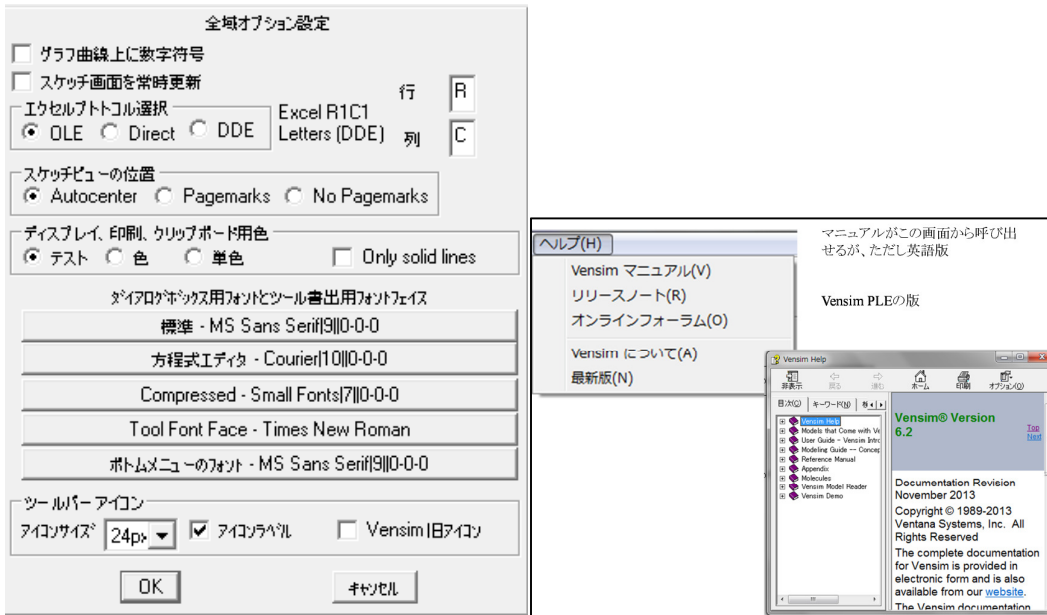


図 18 (左) : 全域オプション指定画面、図 19 (右) : ヘルプ(H)

2) メインツール・バー

3 段目にあるのがメインツール・バーで、この画面ではモデル新規作成や保存などや、シミュレーション実行ができます。

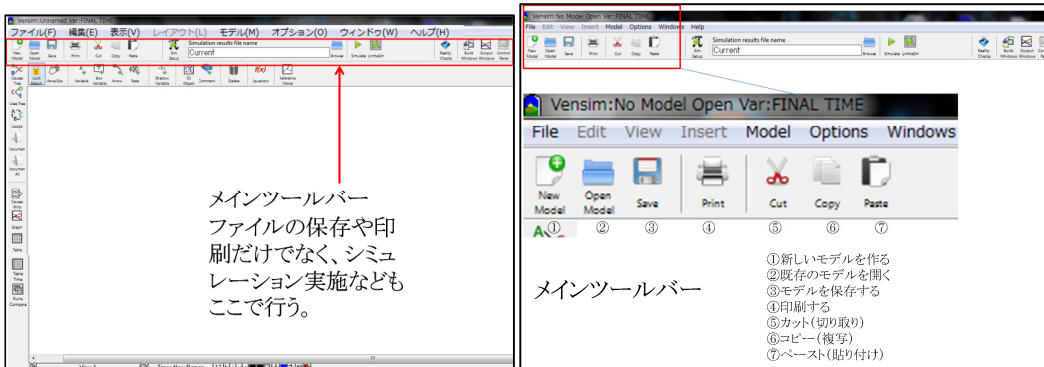


図 20 (左) : メインツール・バー、図 21 (右) : 左の部分

図 21 にその左の部分にある 7 つのボタンを示しています。それぞれ :

- ①新しいモデルを作る
 - ②既存のモデルを開く
 - ③モデルを保存する
 - ④印刷する
 - ⑤カット (切り取り)
 - ⑥コピー (複写)
 - ⑦ペースト (貼り付け)
- の機能があります。

図 22 には中央部にある 5 つのボタンとボックスが示されていて、それぞれ :

- ⑧シミュレーションセットアップ

- ⑨シミュレーション結果を保存するファイル名
 - ⑩シミュレーション結果を保存するファイル検索
 - ⑪シミュレーション実施
 - ⑫シンタックスモード
- の機能があります。

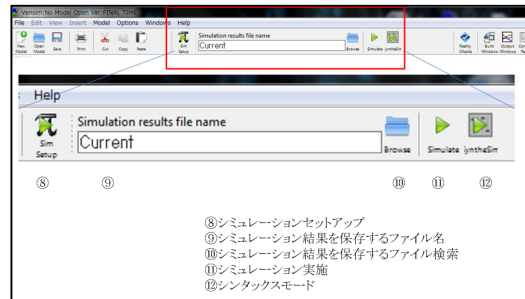
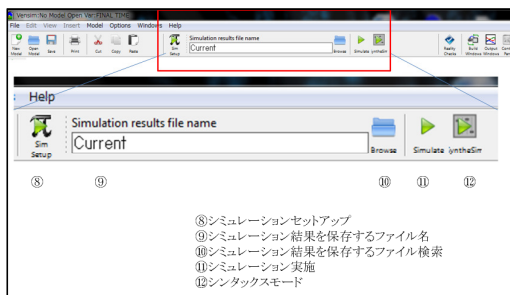


図 22 (左) : メインツール・バー中央部、図 23 (右) : シミュレーション実施部分

シミュレーションを実施するには、通常、モデルを、スケッチ・ツールを使って設計し、定義式を記載した後、図 21 に示した⑪のシミュレーション実施ボタンを押して実施します。この⑪のボタンを押すと、エラーがない限り、⑨のボックスに指定されたファイル名で、シミュレーション実施結果が保存されます。初期のファイル名として、**Current** が指定されているので、**Current.vdf** というファイルが、例えばデスクトップ上に作成されます。もし、すでにシミュレーションが実施されていて、別のファイル名で結果が保存されていて、それを上書きしたい場合、⑩のブラウザーでファイル名の一覧を表示できますので、その一覧から探し出すことも可能です。

⑫のシンタックスモードは、定数の値をいろいろ変えてみる、リアルタイム・シミュレーションのためのものです。

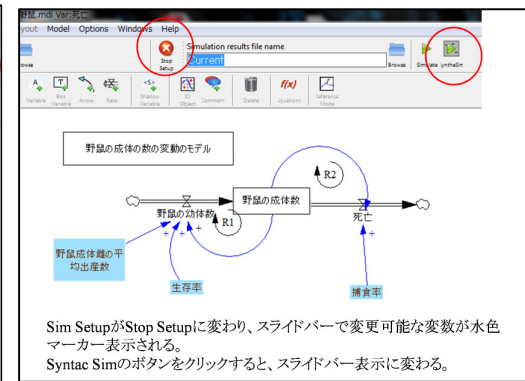
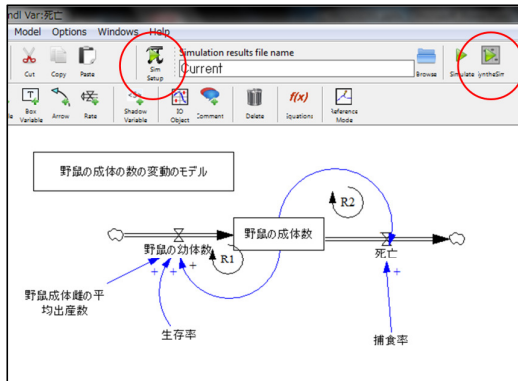


図 24 (左) : シンタックスモード、図 25 (右) : シンタックスモード

図 24 には、このチュートリアルで作成予定の野鼠のモデルが示されています。ここで、⑧のシミュレーションセットアップ・ボタンを押すと、画面は図 25 のように変わり、⑧のボタンは、**Sim Set** から **Stop Setup** に変わります。また、モデルの定数の部分が水色にマーキングされた状態になります。

ここで、⑫のシンタックスモードのボタンをクリックしてみましょう。図 26 に示したように、ボタンは、**Reset Current** と **Reset All Tantas/Loc** に表示が変わり、モデルの水色にマーキングされた定数がスライダーに変わります。スライダーにカーソルを当て、自由に

スライドして値を変えられます。値が変わる度に、リアルタイムで、ストックやフローの値が変わり、その結果がミニグラフで表示されます。このミニグラフを見ながら、適切な定数値を決めることができます。

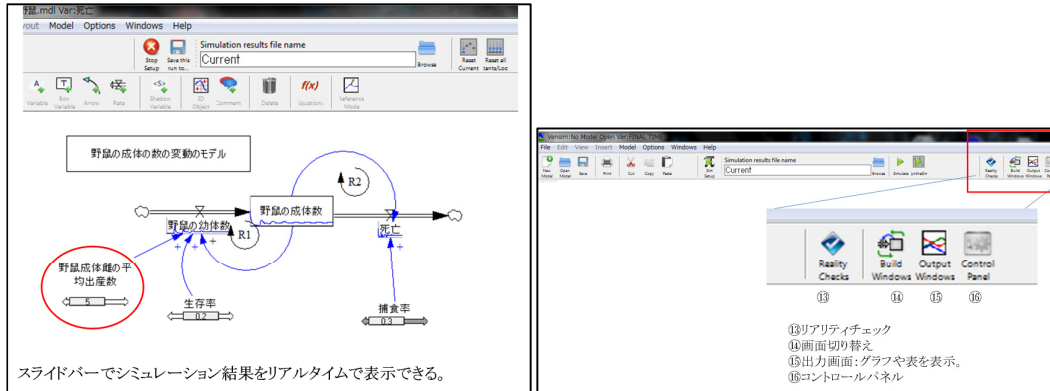


図 26 (左)：シNTAXモード、図 27 (右)：メインツール・バー右部

図 27 には残りの機能が示されています。

- ⑬リアリティチェック
- ⑭画面切り替え
- ⑮出力画面：グラフや表を表示。
- ⑯コントロールパネル

3) スケッチツール・バー

3 段目がスケッチツール・バーで、このバーにあるアイコンを使ってモデルを構築します。

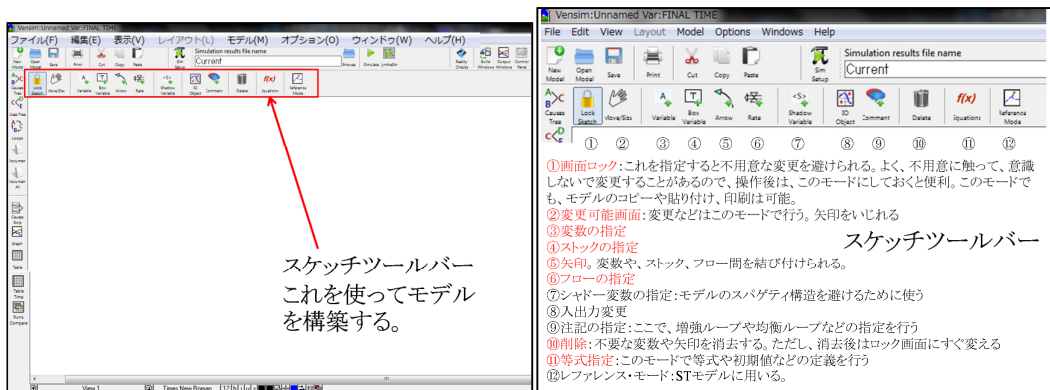


図 28 (左)：スケッチツール・バー、図 29 (右)：スケッチツール・バーのアイコン説明

- ① 画面ロック：これを指定すると不用意な変更を避けられます。初心者はよく、不用意に作成したモデルを触って、意識しないで変更してしまうことがあるので、操作後は、このモードにしておくとう便利です。このモードでも、モデルのコピーや貼り付け、印刷は可能なので、パワーポイントやワードなどにモデルをコピーして貼り付ける場合は、この画面ロックモードで実施するとういいでしょう。ちなみに、パワーポイントやワードに貼り付ける際には、図（拡張メタファ）によって貼り付けると文字化けを起こさず貼り付けることができます。
- ② 変更可能画面：変更などではこのモードで行います。ストックやフロー、変数、矢印な

- どの位置を変えることや、矢印の円弧の大きさを変化させることができます。
- ③ 変数の指定：変数を描き、変数名を記載できます。
 - ④ ストックの指定：ストックを描き、ストック名を記載し、枠の形や大きさを指定できます。
 - ⑤ 矢印。変数や、ストック、フロー間を矢印で結び付けられます。
 - ⑥ フローの指定：フローをストックに結びつくように描け、フローの名前を記載できます。
 - ⑦ シャドー変数の指定：モデルのスパゲティ構造を避けるために使います。
 - ⑧ 出力変更
 - ⑨ 注記の指定：ここで、増強ループや均衡ループなどの指定を行うことができます。
 - ⑩ 削除：不要な変数や矢印を消去する際に使います。ただし、消去後はロック画面にすぐ変えることをお勧めします。
 - ⑪ 式指定：このモードで等式や初期値などの定義を行います。
 - ⑫ レファレンス・モード：ST モデルに用います。

4)ステイタス・バー

画面下にあるのがステイタス・バーで、変数や矢印などの細かい指定を行う際に使います。

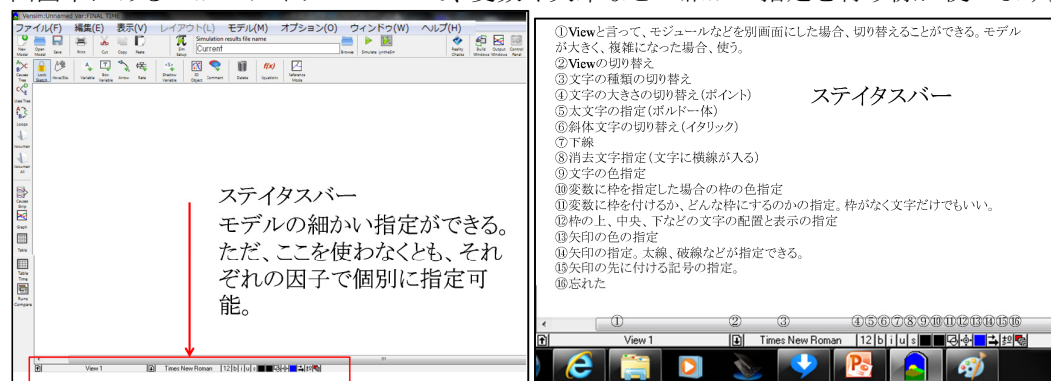


図 30 (左)：ステイタス・バー、図 31 (右)：ステイタス・バーのアイコン説明

- ①View と言って、モジュールなどを別画面にした場合、切り替えることができる。モデルが大きく、複雑になった場合、使う。
- ②View の切り替え
- ③文字の種類（MS 明朝体、bold 体などの字体）の切り替え
- ④文字の大きさの切り替え（ポイント、デフォルトは 12 ポイント）
- ⑤太文字の指定（bold 体）
- ⑥斜体文字の切り替え（イタリック）
- ⑦下線
- ⑧消去文字指定（文字に横線が入る）
- ⑨文字の色指定
- ⑩変数に枠を指定した場合の枠の色指定
- ⑪変数に枠を付けるか、どんな枠にするのかの指定。枠がなく文字だけでもいい。
- ⑫枠の上、中央、下などの文字の配置と表示の指定
- ⑬矢印の色の指定
- ⑭矢印の指定。太線、破線などが指定できる。
- ⑮矢印の先に付ける記号の指定。（+、-、S、O などが指定できる）

ただ、このステイタス・バーを使わなくとも、矢印、変数などでは、それぞれ、ポインタを当て、左クリックすることで、矢印詳細指定画面を呼び出すことができ、それを使って、例えば矢印の太さ、色などを変更、あるいは指定することが可能です。

5)分析ツール・バー

下面左にあるのが分析ツール・バーで、作成したモデルのチェックや、シミュレーション結果を、グラフや表にして表示する際に用います。

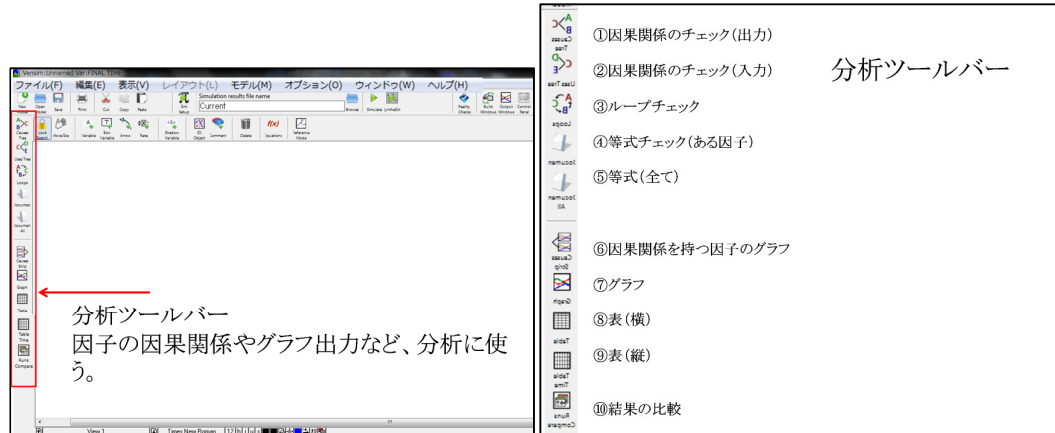


図 32 (左) : 分析ツール・バー、図 33 (右) : 分析ツール・バーのアイコン説明

- ①因果関係のチェック (入力)
- ②因果関係のチェック (出力)
- ③ループチェック
- ④等式チェック (ある因子)
- ⑤等式 (全て)
- ⑥因果関係を持つ因子のグラフ
- ⑦グラフ
- ⑧表 (横)
- ⑨表 (縦)
- ⑩ 結果の比較、ができます。

① 因果関係のチェック (出力) と②因果関係のチェック (入力)

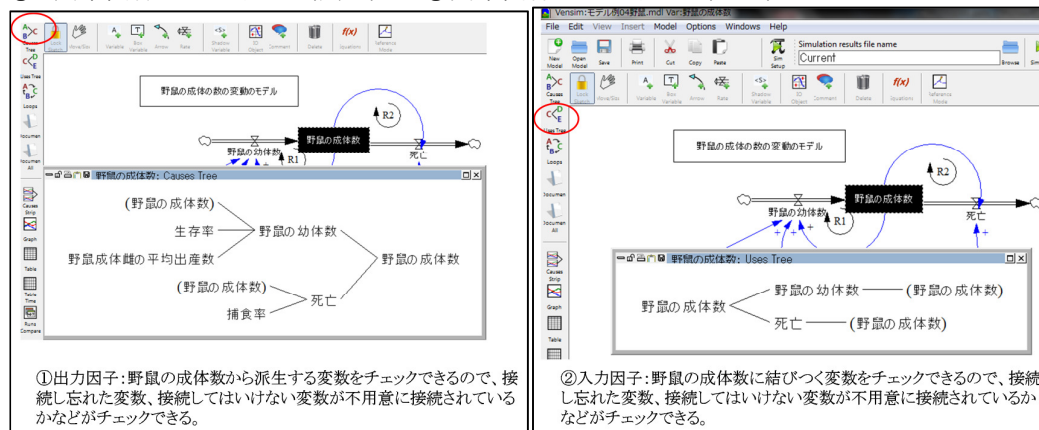


図 34 (左) : ①因果関係のチェック (入力)、図 35 (右) : ②因果関係のチェック (出力)

この機能を使って、あるパラメータに入力、あるいは出力と仕手関係する因子をチェックできますので、何か見落としがないかチェックする際に便利です。①は入力で、チュートリアル野鼠の例を示しています。ここでは、野鼠の成体数というストックにポイント

⑥因果関係を持つ因子のグラフと⑦グラフ

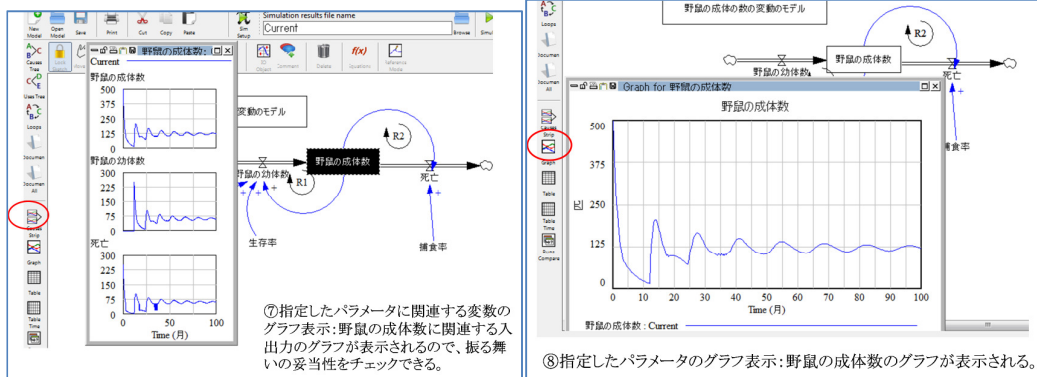


図 39 (左): ⑥因果関係を持つ因子のグラフ、図 40 (右): ⑦グラフ

⑥は因果関係、入力関係と出力関係を持つパラメータを同時出力できる機能です。例は、野鼠のモデルです。ここで、野鼠の成体と入力である幼体は+の関係なので、同じようなパターンである必要があります。ただ、DELAY 関数を使っているので、周期がずれている必要があります。また、同じく、成体と死亡も+の関係なので、同じようなパターンで変化する必要があります。ここには DELAY 関数は使っていないので、周期が同じはずです。+の関係であるはずにも関わらず、もし、パターンが違って、一方が増加するのに対し他方が減少していたら、何かおかしいことになります。⑦は指定したパラメータを単独でグラフ出力する機能です。

⑧表 (横) と⑨表 (縦)



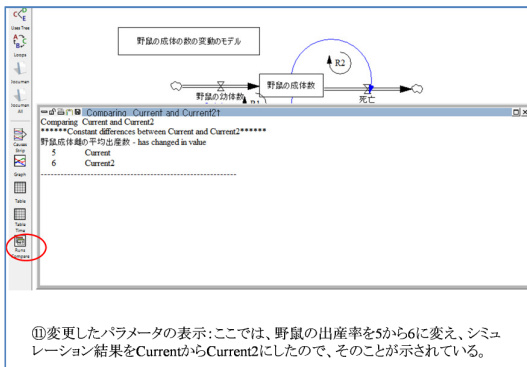
図 41 (左): ⑧表 (横)、図 42 (右): ⑨表 (縦)

⑧と⑨はシミュレーション結果を表出力させる機能で、⑧は横の表に、⑨は縦の表で出力します。数値で確かめたい場合などにこの機能を使います。

⑩結果の比較

いろいろパラメータの値を変えてシミュレーションすることが多いと思います。多分いちいち変化させた値を覚えていないでしょう。そういった際に、どのパラメータをどう変えたかをチェックする機能がこのボタンです。ただし、パラメータの値を変えてシミュレーションする場合、必ず、シミュレーション結果を保存するファイル名も変えて下さい。そうでないと、上書き更新されますので、この機能を使っても、前に設定したパラメータの値は表示されません。更新後の値になります。ここでは、生誕数が 5 匹の場合に最初設定し、シミュレーションを行い、Current というファイル名に保存し、その後 6 匹に変え、Current6 という名前でも保存しています。シミュレーションで、最初は 5 匹で、次に 6 匹に変

えてシミュレーションを実施したことが示されています。



⑩変更したパラメータの表示:ここでは、野鼠の産卵数を5から6に変え、シミュレーション結果をCurrentからCurrent2にしたので、そのことが示されている。

図 43 : ⑩結果の比較

(4)モデルの作成

それでは、野鼠のモデルを作ってみましょう。

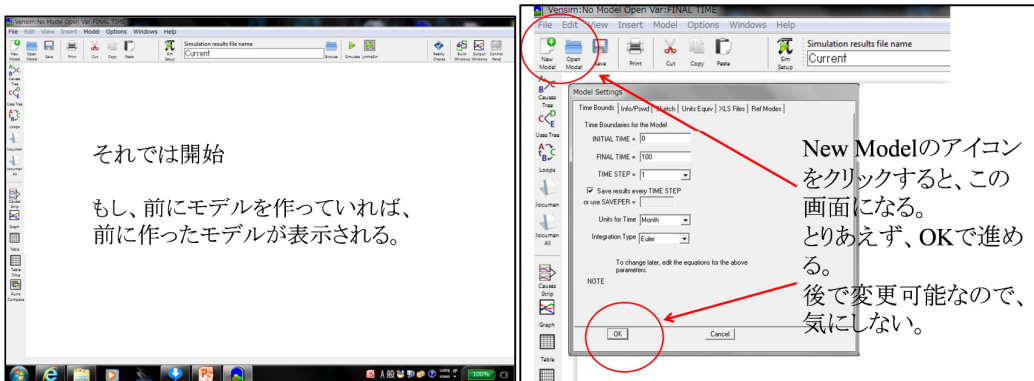


図 44 (左) : 開始画面、図 45 (右) : New Model の画面

Vensim PLE を立ち上げると、図 44 のような画面になります。3 段目のメインツール・バーから、左端の New Model のボタンをクリックします。すると図 45 のような、シミュレーション実行設定画面が、現れます。初期値で、開始時間が 0、終了時間が 100、時間刻みが 1、単位が Month、計算方法がオイラー法になっていますので、この条件のままとし、OK ボタンを押します。すると、図 46 のような、スケッチツール・バーが 4 段目に、画面下にステータス・バーが新しく表示された画面になります。

もちろん、変更したい、例えば、単位を Month ではなく、年にしたいといったことも可能です。ただ、ここで特に変更しておかなくとも、後で、メニュー・バーからモデルを選べば、同じ画面が表示されますので、ここではあまり気にしないで、作業を進めて下さい。

最初にストックを設計しましょう。スケッチツール・バーのストック (Level) のアイコンをクリックし、作業ベンチの画面に移動し、マウスを左クリックすると、ストック名を記入する四角い枠が表示されます。「野鼠の成体数」と記入して下さい。なお、IME で日本語全角モードにしておいて下さい。

完成すれば、四角い枠に囲まれた、「野鼠の成体数」というストックが完成します。枠の大きさを変えたい場合は、枠の右下に小さな円がありますので、ここにポインターを当て、ドラッグすると枠の大きさを変えることができます。同じく、文字の大きさ (ポイント) を変えたい場合は、ポインターでストックをクリックし、黒に反転させておいて、下のス

テイタス・バーから 12 と書かれたボタンを選び、その中で、変えたい大きさの数字を選びます。

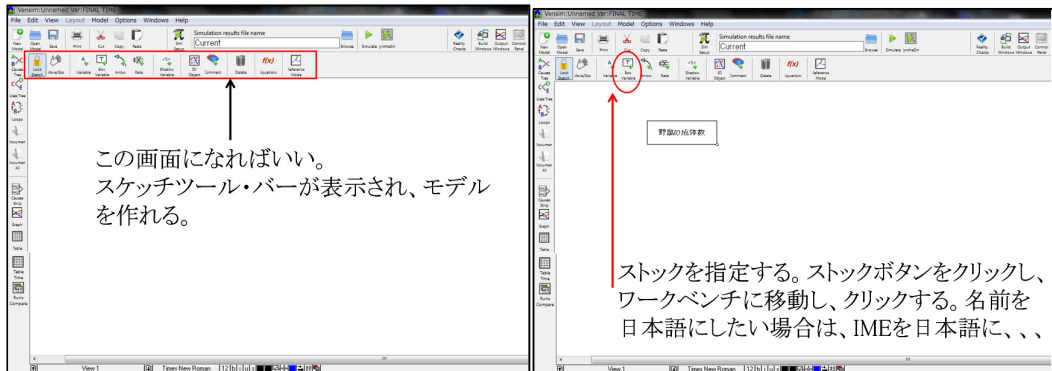


図 46 (左) : スケッチツール・バー表示の画面、図 47 (右) : ストック指定

今度はフローを描いてみましょう。まず入力から。スケッチ・バー上のフロー(Rate)のボタンを押し作業ベンチに移動します。ストックの左側の適当な位置にポインターを当て、マウスを左クリックし、離し、ストックの枠の中にポインターを移動します。そして、左クリックをすると、フローの名前を定義する枠が現れます。「野鼠の幼体数」として下さい。次にフローの出力を指定します。今度は、ポインターをストックの枠の中に当て、左クリックし、離し、ストックの右側の適切な位置まで移動します。そして左クリックすると、フローの名前指定の枠が表示されますので、「死亡」と記入して下さい。図 49 のようになっていれば完成です。

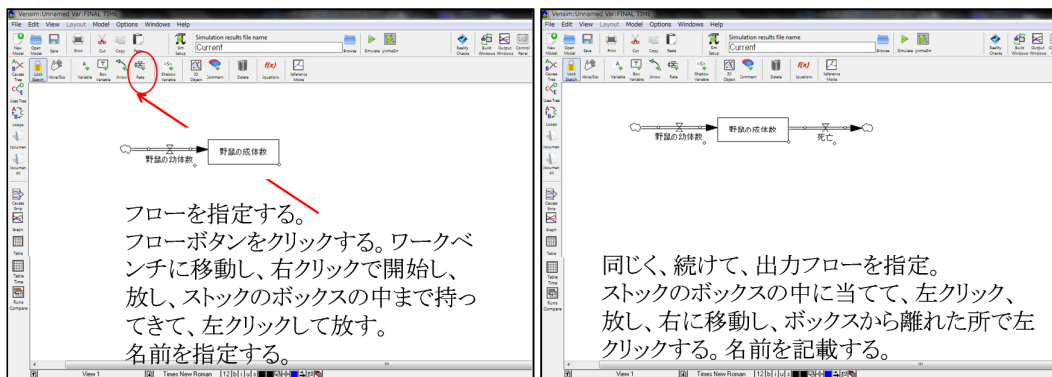


図 48 (左) : フロー指定の画面、図 49 (右) : フローを描く

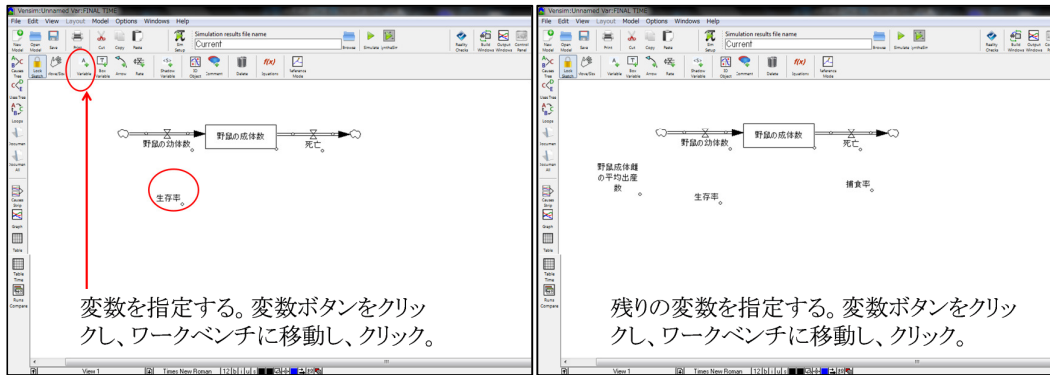


図 50 (左) : 変数指定の画面、図 51 (右) : 変数を描く

次は残った 3 つの変数を記載しましょう。スケッチツール・バー上の変数 (Variable) のボタンを押し、作業ベンチに移動し、適当な位置でマウスを左クリックすると、変数指定の枠が現れます。「生存率」と記載して下さい。成功すれば図 50 のような画面になります。続けて残りの 2 つの変数を記載します。それぞれ、「野鼠雌の平均出産数」、「捕食率」を記載します。成句すれば、図 51 のような画面になります。

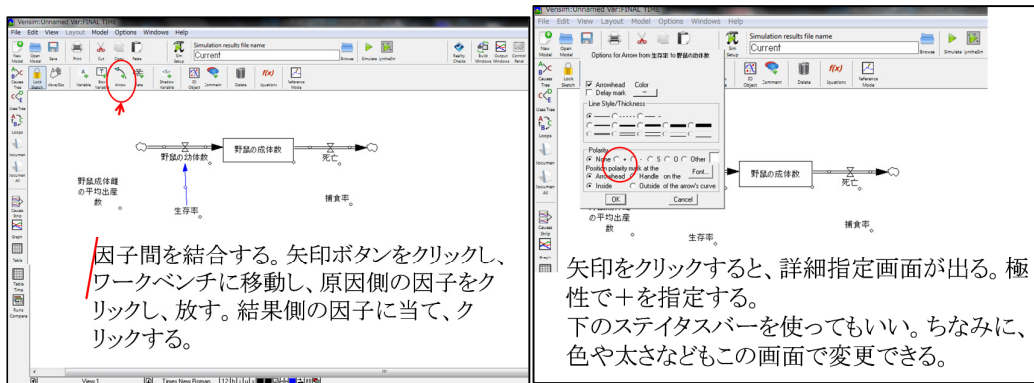


図 52 (左) : 矢印指定の画面、図 53 (右) : 矢印で結び付ける

パラメータ間を矢印で結び付けましょう。やはり、スケッチツール・バーから、矢印(Arrow)を選びクリックします。次に、結び付けたいパラメータの起因側にポインターを当て左クリックし、離し、終点側のパラメータにポインターを当て、左クリックします。すると、2 つの因子が矢印で結び付けられます。通常は直線になるので、これを円弧にしたい場合は、矢印の中間にある小さな円にポインターを当て、ドラッグすると円弧になります。また、矢印にポインターを当て、クリックすると、図 53 のような矢印の詳細指定画面が現れます。ここでは、矢印の先に正か負かの関係を示すための記号を付けましょう。正は+で、負は-を選んで下さい。どれも正の関係なので、全て+になります。

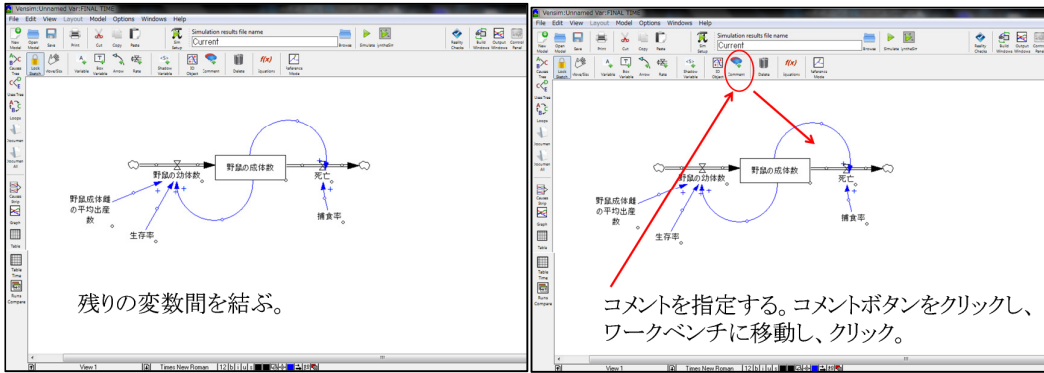


図 54 (左) : 矢印で結ぶ、図 55 (右) : コメント

ループを指定してみましょう。同じく、矢印をスケッチツール・バーから選び、ストックと2つのフローをそれぞれ結び付け、円弧にします。成功すれば図 54 のようになります。ループに増強ループであることを示すコメントを記載してみましょう。スケッチツール・バーからコメント (Comment) を選び、ポインターをループの中央に当て、左クリックすると、図 56 に示したような記載画面が表示されます。左上にある指定で、時計廻りにチェックを入れ、Comment 欄に「R1」、「R2」と記載して下さい。完成すれば図 58 のような画面になります。余談ながら、Image を使ってもよく、+、- といった記号や、雪崩、シーソーなどのイメージを使う人もいます。



図 56 (左) : コメント定義画面、図 57 (右) : ループ R1 指定

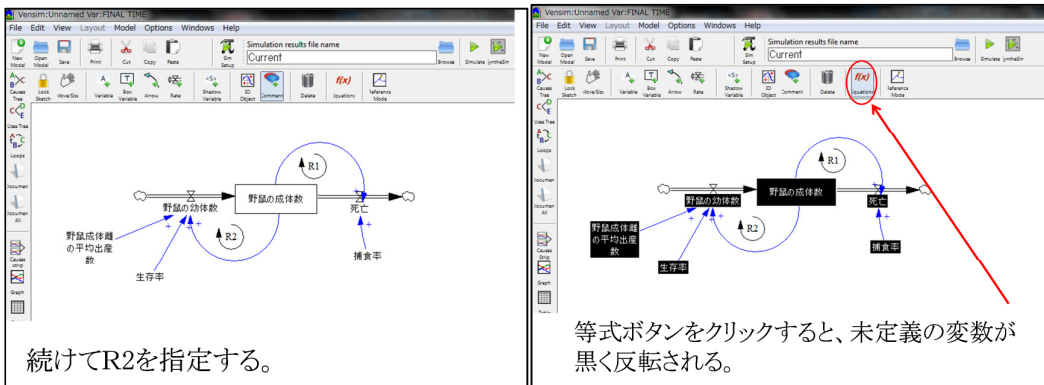


図 58 (左) : ループ R2 指定、図 59 (右) : 等式の定義

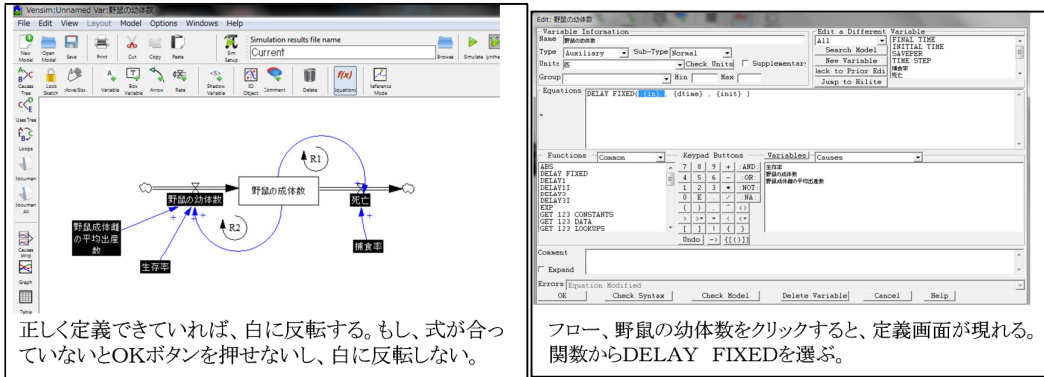


図 60 (左) : 等式の定義、図 61 (右) : フローの等式の定義画面

等式を定義し、モデルを完成させましょう。スケッチツール・バーから等式 ($y=x(t)$) を選びます。すると、図 59 に示したように、まだ定義していないパラメータは黒に反転します。定義していないパラメータにポイントを当て、クリックすると、図 61 のような定義画面が表示されます。

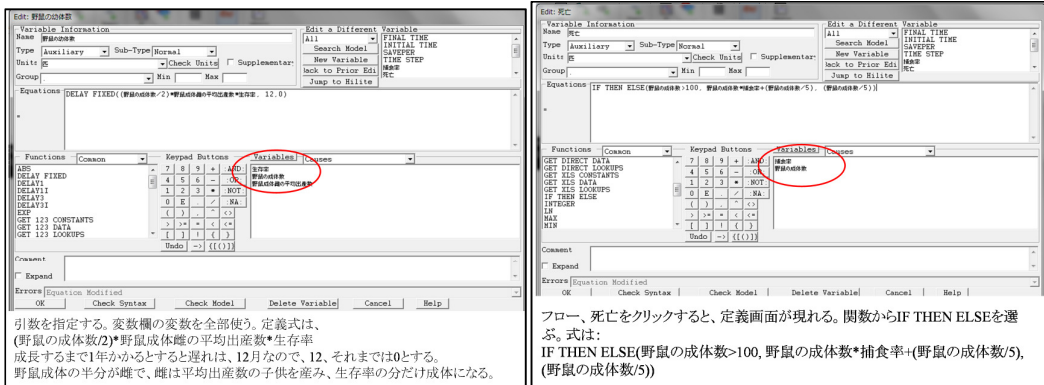


図 62 (左) : フロー (入力) 等式の定義、図 63 (右) : フロー (出力) 等式の定義画面

ストックの定義画面とフロー及び変数の定義画面は多少ちがいますが、概ね似ています。ストックの定義画面では、すでに予め計算式が定義され、その確認画面になっていると共に、初期値を指定するようになっています。野鼠の成体数はストックなので、初期値として 500 匹を入れます。また、定義式を変更したい場合は、ここで変更できるようになっています。定義式に文法的な誤りがなければ、OK ボタンを押した場合、画面がモデルのスケッチ画面に戻り、定義が終わったパラメータは白に変わります。もし、文法的なエラーがあれば、OK ボタンは押せません。Close にして終わらせるか、文法的に正しい式に修正します。

フロー (入力) である、野鼠の幼体数を定義しましょう。定義ボタンをクリックした後、このパラメータをクリックすると図 62 のような定義画面が現れます。ここでは、Functions (関数) 及び Keypad Button にある演算子が等式定義に使い、その際に、Variable(変数)の欄に現れたパラメータを全て使う必要があります。

野鼠の雌だけが子供を産めるので、出産できる野鼠の雌の数は「野鼠の成体数」の半分になります。この数の雌が、「野鼠成体雌の平均出産数」で定義した子供を出産します。ここまでの定義は：

$$\text{野鼠の幼体数} = [(\text{野鼠の成体数}) \div 2] \times (\text{野鼠成体雌の平均出産数})$$

になります。

この生まれた野鼠の子供は、成体になるまでに 8 割が死亡し、2 割のみが成体に育つとしています。子供は大人に比べ捕食されやすく、病気や栄養失調などに弱いので、高い死亡率に設定しています。従って成体にまで育つ野鼠の幼体数は：

野鼠の幼体数 = $\{[(野鼠の成体数) \div 2] \times (野鼠成体雌の平均出産数)\} \times (生存率)$
となります。

さらに、野鼠は生まれて、子供を産める成体になるまでに 1 年 (=12 ケ月) としていますので、12 ケ月の遅れがあります。

使える関数の一覧の中から DELAY FIXED を選びます。3 つの引数を指定するようになっています。最初の引数は、遅延された後の計算式です。先の

$\{[(野鼠の成体数) \div 2] \times (野鼠成体雌の平均出産数)\} \times (生存率)$
がここに指定されます。具体的には、
 $(野鼠の成体数) / 2 * (野鼠成体雌の平均出産数) * (生存率)$
となります。

2 番目の引数は、どれだけ遅延させるかですので、12 を指定します。

3 番目の引数は、遅延中で最初の遅延された値が到着するまでの期間に取る値なので、0 とします。

従って、定義式は：

=DELAY FIXED((野鼠の成体数/2)*野鼠成体雌の平均出産数*生存率, 12,0)
となります。

全角で数字や演算子を定義するとエラーになりますので、必ず英文半角モードにして関数定義を行って下さい。

次に、フローの出力側を定義しましょう。死亡する野鼠を定義します。

ここでは、野鼠の成体数が 100 匹以下だと天敵は野鼠を見つけられないので、自然死だけになり、

野鼠の成体数/5

と 5 年かけて死んでいく。

100 匹以上だと、天敵に見つかる確率が高くなり、捕食率分だけ天敵に襲われる。従って、死亡は、

野鼠の成体数*捕食率+(野鼠の成体数/5)

としましょう。

IF THEN ELSE 関数を選びます。この関数は 3 つの引数を定義する必要があります。最初の引数は、条件式で、ここでは成体数が 100 匹以上とします。従って：

野鼠の成体数>100

となります。

2 番目の引数は、先の条件式が真の場合についてですので、

野鼠の成体数*捕食率+(野鼠の成体数/5)

となります。

3 番目の引数は、条件式が偽の場合ですので、

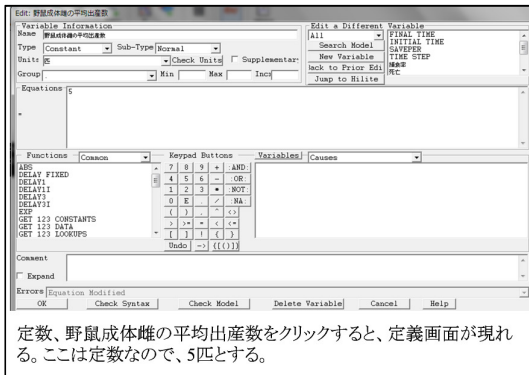
(野鼠の成体数/5)

となります。

従って、

=IF THEN ELSE(野鼠の成体数>100, 野鼠の成体数*捕食率+(野鼠の成体数/5), (野鼠の成体数/5))

となります。



定数、野鼠成体雌の平均出産数をクリックすると、定義画面が現れる。ここは定数なので、5匹とする。



定数、生存率をクリックする。定数で、0.2、単位は無単位。

図 64 (左) : 定数平均出産数の定義、図 65 (右) : 定数捕食率の定義画面

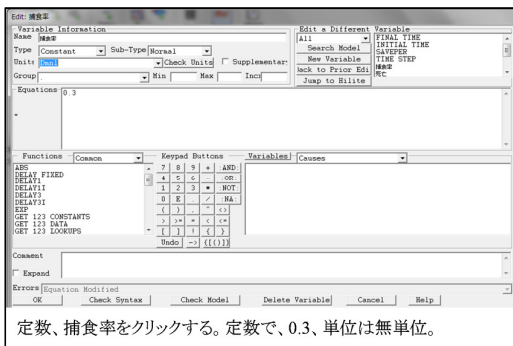
最後に残った3つの定数の定義を行います。

まず、野鼠成体雌の平均出産数では、とりあえず5(匹)としましょう。

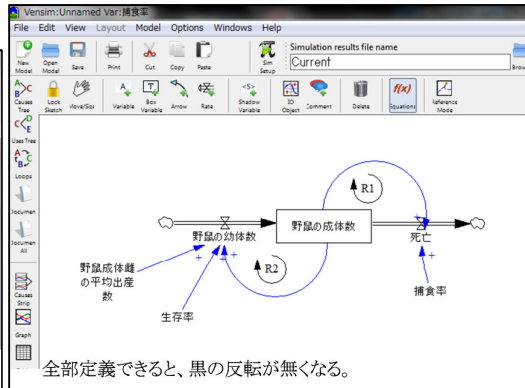
生存率は0.2とします。20%の生存率になります。これは無単位ですのでDmlsになります。

捕食率は0.3とします。30%の捕食率になります。これも無単位です。

もし、文法エラーが無く、無事全てのパラメータを定義できれば、画面は図67に示したように、黒の反転の無いモデルを描き終えた状態のようになります。

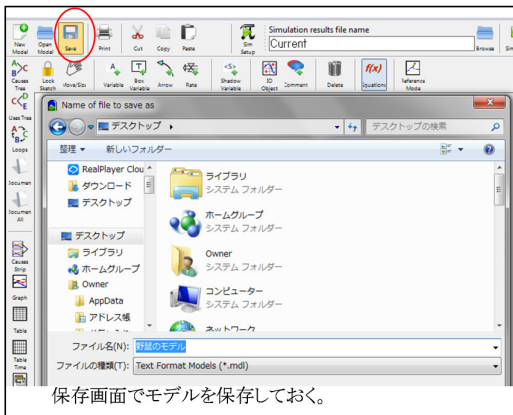


定数、捕食率をクリックする。定数で、0.3、単位は無単位。

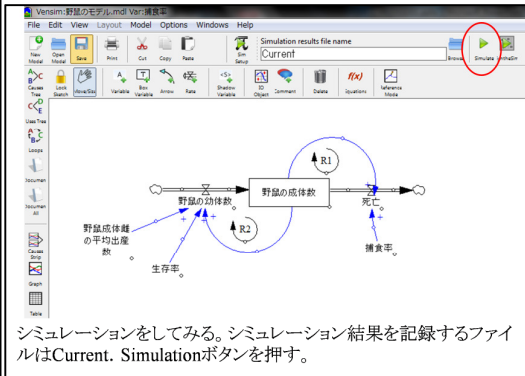


全部定義できると、黒の反転が無くなる。

図 66 (左) : 捕食率の定義、図 67 (右) : 定義終了後の画面



保存画面でモデルを保存しておく。



シミュレーションをしてみる。シミュレーション結果を記録するファイルはCurrent. Simulationボタンを押す。

図 68 (左) : 保存、図 69 (右) : シミュレーション

作成したモデルを保存しておきましょう。メニュー・バーのファイルを選んで保存して

もいいし、メインツール・バーで保存のボタンを選んでもいいでしょう。ここでは、デスクトップに、「野鼠のモデル」というファイル名で保存しています。デスクトップには、野鼠のモデル.mdl という名前のファイルでこのモデルが保存されます。

(5)シミュレーション

それでは、シミュレーションを実施してみましよう。メインツール・バーのシミュレーションのボタンをクリックします。等式に文法エラーがなく、全てのパラメータに定義がされていれば、データファイル名で指定した名前でシミュレーション結果が保存されます。もし、エラーがあれば、エラーメッセージが表示されます。エラーメッセージも、指定範囲を超えたといった重大ではなく計算を継続できるメッセージなどは、あるいは無視してもいいでしょう。

シミュレーションされた結果は、ここでは、メインツール・バー上で指定した **Current** という名前のファイルに保存するようにしていますので、**Current.vdf** という名前でファイルが作成されます。定数の値を変えてシミュレーションし、前のシミュレーション結果と比較したい場合は、保存されるファイル名を変更してシミュレーションを実施します。

それでは、シミュレーション結果をチェックしてみましよう。ここでは、野鼠の成体数の変化が知りたいので、野鼠の成体数にポインターを当て、分析ツール・バーにあるグラフ出力のボタンを選択します。すると、図 71 に示したようなグラフが出力されます。このグラフによれば、125 匹を中心線にしながら安定的に周期変動していることがわかります。

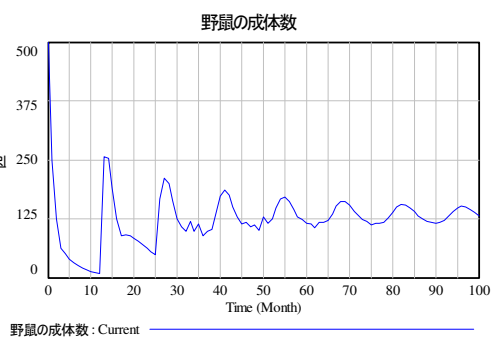
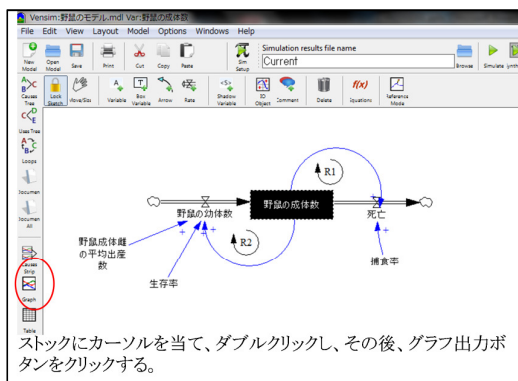


図 70 (左) : グラフ表示、図 71 (右) : グラフ表示された結果

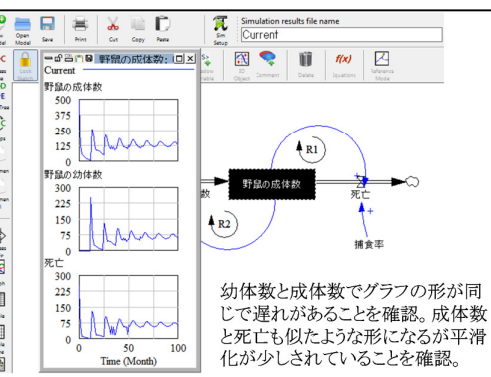
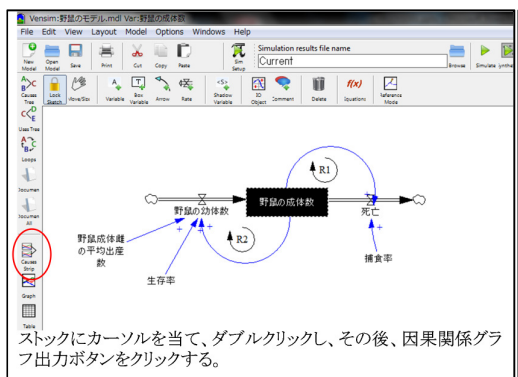


図 72 (左) : 比較グラフ表示、図 73 (右) : 比較グラフ表示された結果

ついでに、分析ツール・バー上の比較グラフのボタンを選んでみましょう。野鼠の成体数に入出力で直接的に関連するパラメータのシミュレーション結果を示すグラフが、野鼠の成体数を示すグラフと共に出力されます。この2つの入出力パラメータは、図72のモデルでは+の関係で野鼠の成体数に関連付けられていますので、似たような変化のパターンになるはずですが。3つのパラメータはほぼ同じ形で変化していますので、妥当と言えます。もし、逆の形になっていれば、関係は+ではなく実は-だったことになります。

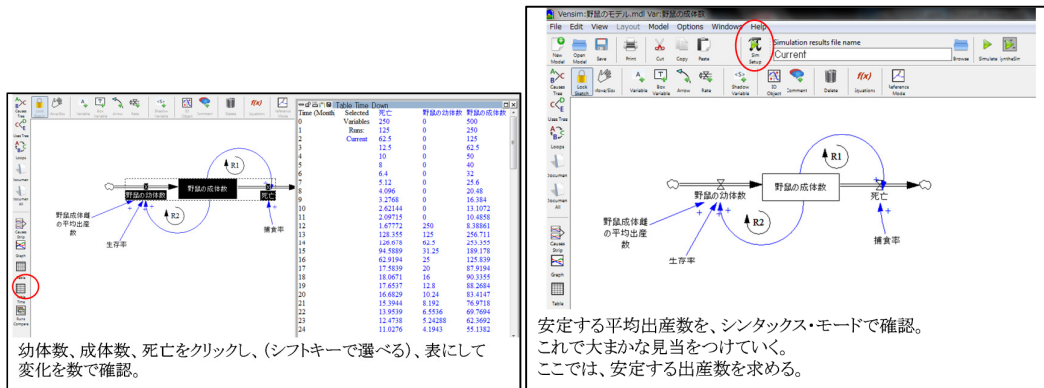


図74 (左) : 表表示、図75 (右) : シNTAXモード

それでは表で見えてみましょう。分析ツール・バーで表(縦)を選ぶと、図74のように表形式で結果が表示されます。ここでは、野鼠の幼体数、野鼠の成体数、死亡の3つのパラメータを選択し、比較表示させています。複数のパラメータを選択するためには、シフトキーを押しながら、ポインターを当てクリックしていけば複数のパラメータを選択できます。選択されたパラメータは黒色反転します。

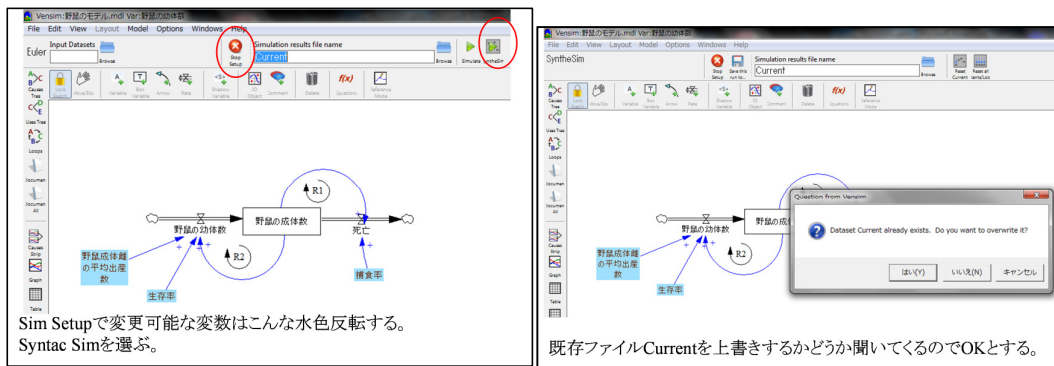


図76 (左) : シNTAXモード、図77 (右) : シNTAXモード

シNTAXモードで、適切と思われる、安定するような出産数を探ってみます。メインツール・バーで Sim Setup をクリックすると、変更可能な変数は図76のように、水色反転します。同じく、メインツール・バーにある Syntac Sim を選ぶと、すでに Current という名前でシミュレーション結果を保存していますので、図77のように、シミュレーション結果を上書きするかどうか尋ねてきます。ここでは上書きするので、OKとします。

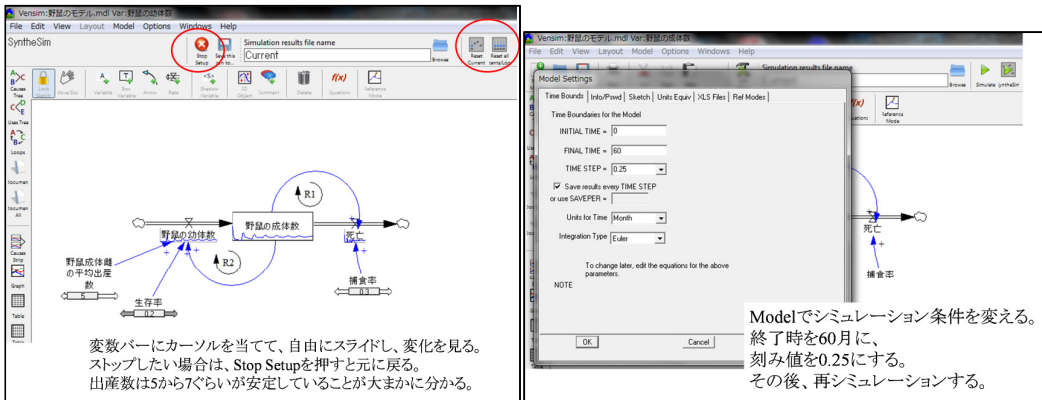


図 78 (左) : シンタックスモード、図 79 (右) : シミュレーション条件の変化

シンタックスモードでは、変数はバーに変わり、スライディングで変化させることができます。ここでは野鼠成体雌の平均出産数をいろいろ変えてみてください。野鼠の成体数のパラメータに表示されているミニグラフが、平均出産数が 1 や 2 といった小さな数字ではボックスの下の方にフラットになり、減衰していくことが見て取れ、10 や 15 といった大きな数字では、グラフは右上に大きく発散していくことが見られるでしょう。

シンタックスモードは一旦これで終了します。メインツール・バーでもともと **Sim Setup** があった場所が **Stop Setup** になっていますので、ここをクリックすると元の画面に戻ります。

それでは、シミュレーションの条件を変え、もっと細かい刻値にしてみましょう。メニューツール・バーからモデルを選ぶと、最初にモデルを作成する画面を表示させた際に現れた、シミュレーション条件定義画面が現れます。ここで、刻値を 0.25 (月) に、終了時期を 60 (月) にします。これでシミュレーションすると、表示されたグラフの結果はもっとスムーズな三角曲線的曲線になっていることが見てとれます。

野鼠成体雌の平均出産数を 1 (匹) にし、シミュレーション結果を保存するファイル名を **Current1** にします。こうしてシミュレーションを実施してみてください。

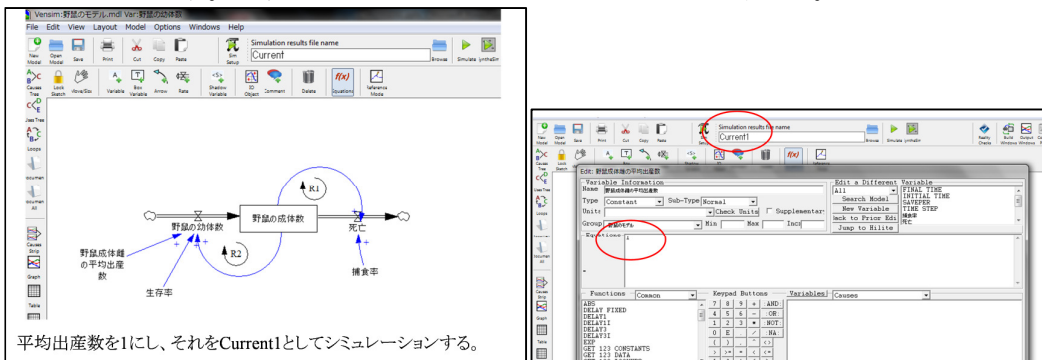


図 80 (左) : 出産数の変更、図 81 (右) : 出産数を 1 匹とする

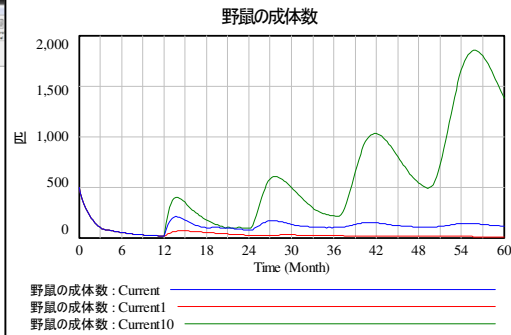
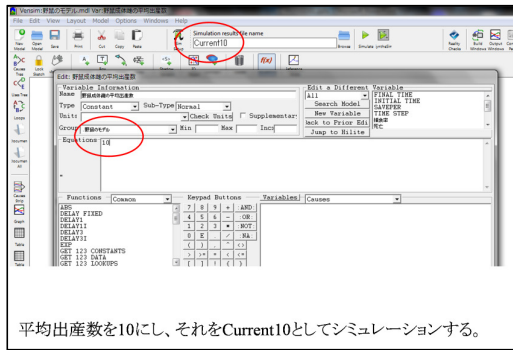
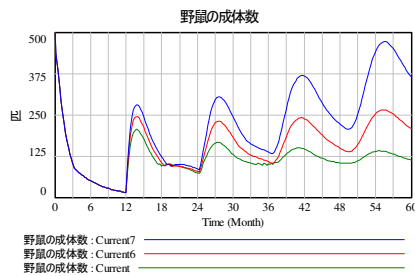


図 82 (左) : 出産数を 10 匹とする、図 83 (右) : 3 つの条件比較

次に、野鼠成体雌の平均出産数を 10 (匹) にし、シミュレーション結果を保存するファイル名を **Current10** にします。こうしてシミュレーションを実施して下さい。

「野鼠の成体数」を選び、分析ツール・バーでグラフ出力させると、出産数が 1 匹、5 匹、10 匹の 3 つのシミュレーション結果が比較表示されます。出産数が 10 匹の場合発散し、1 匹の場合、0 匹に限りなく接近していることが見て取れます。



画面を閉じCurrent10とCurrent1を消去、5から上で、6、7を試す。
6が一番安定していることが分かる。

図 84 : 5 匹、6 匹、7 匹の比較

Vensim PLE のソフトを一旦閉じ、**Current1** と **Current10** のファイルを消去します。再度 Vensim PLE を立ち上げ、出産数を 6 匹、7 匹と変え、その保存するファイル名を **Current6**、**Current7** としてシミュレーションし、出産数が 5 匹、6 匹、7 匹のケースで成体数のシミュレーション結果を示してみましよう。図 84 に結果を示していますが、5 匹が一番安定していて、6 匹や 7 匹では発散傾向にあることが見て取れます。従って、安定している出産数は 5 匹ということになります。

(5)質問に対する回答

死亡には遅れを用いないのかという質問がありましたが、死亡はばらばらで、最長でも 5 年で死亡するとしている関係で、このモデルでは遅れを用いないで、20%づつ、つまり 5 年かけて死亡していくとしています。厳密に成体数を計算するには、コホートになるので、多数のストックをパイプライン構造で繋げたモデルにする必要がありますが、そうするとモデルが複雑になるので、ここでは簡略化しています。なお、Vensim の上位機種には、アレー機能を使いコホートで計算できる機能があります。

参加者の渡辺さんから、どうやってパラメータの適切な値を決めるのか知りたいという要望がありましたので、このチュートリアル野鼠のモデルを使って解説します。以下の 4 つの方法で決めていきます。

- 1)常識でレンジが決まる
- 2)モデル設計でレンジを決めておく
- 3)概算でレンジを決める
- 4)あとは、シミュレーションで計算して決めていく

1)常識でレンジが決まる：

常識で考えれば、野鼠は多分月 10 匹は子供を産むかも知れませんが、月に 100 匹生むことはありえないでしょう。もし、そうなら、野鼠が生殖する地域一体には何も植物は無くなり、野鼠が大群のように群れているはずですが、そんな光景は普通ありません。栄養状態によるのでしょうが、年で 1 匹ということも考えにくいでしょう。こんな状態では、野鼠は貴重絶滅品種になり、ほとんど見かけないようになるはずですが、でも、野鼠により農産物が被害を受けたりといった光景を見ますので、野鼠は普通に存在する生物です。毎月 10 匹以上出産するのは、かなり栄養状態がいい場合に限られます。とすれば、常識で考えれば、野鼠の出産数は月に 1 匹から最大 10 匹の間ということになるでしょう。

2)モデル設計でレンジを決めておく：

モデル設計を行う際に、ある値以上と以下を取らないようにしてしまいます。例えば、第 2 回目に演習で紹介した兎が狐に捕食されるモデルに則して説明すれば、狐は月に 10 頭以上は兎を取らないとしています。狐は食料として兎を狩ります。でも必要な量以上に狩り、虐殺を行うということはありません。また、兎と狐の数の比が 5% 以下になった場合、兎はいても、狐に見つからないので、捕まえられないとしています。他にも、チュートリアル例として紹介した観光産業モデルで、観光客の観光スポットの気に入り具合を 5 段階で表現し、5 以上の値を取らないとしています。こうしておけば、レンジが予め決まっているので、最適値はこのレンジの範囲内となります。こういったようにモデル設計で、レンジを決めておきます。特に、モデルの定義式に、除算が含まれる場合、ゼロで割ると無限大になり、エラーになりますので、これを防ぐためにも、モデル設計でパラメータが取れるレンジを決めておくことが重要です。

3)概算（定義）でレンジを決める：

野鼠のモデルを作る際に、以下のような式を考えるはずですが、式に、常識で考えたレンジ内で、最小値、最大値と中央値など適切と思われる値を仮に当てはめて暗算します。ここでは、先の 1 匹から 10 匹の間ということで、中央値 5 匹を当てはめて計算します。モデルでは遅れ関数を使うのですが、暗算できないので、ここでは遅れは無視します。

まず生殖では：

i)生殖：

$$y(t)=y(t-1)*a$$

a:増殖率→率ではなく、成体中の雌が生む子供の数に単位変換して、5 匹

天敵に殺されるなどといったことを考えなければ、上のような関係が増えていくはず。

(ただし、厳密化すると、野鼠の成体の雌（野鼠の成体数の半分）が 5 匹子供を産むので、 $y(t)=(y(t-1)/2)*5$ となる。)

ii)子供が天敵に襲われる、あるいはその他で死んでしまうことを考え、どれだけ生存するか考えると。

$$y(t)=y(t-1)*b$$

b:生存率=0.2

死亡では：

iii)捕食されて死亡：

$$y(t)=y(t-1)*c$$

c:捕食率=0.3

iv)寿命で死亡：

$$y(t)=y(t-1)*d$$

d:寿命=5(年)→単位変換して 1/5

以上の式の合成は：

$$y(t)=y(t-1)*(a*b)-y(t-1)*(c-d)$$

(3)概算(定義)でレンジを決める。1と10を当てはめたあと、中央値の5を当てはめて計算：

$$y(t)=y(t-1)*(a*b)-y(t-1)*(c-d)$$

これも概算で：

$$a:増殖率=(500/2)*5=1,250(匹)$$

$$b:生存率=0.2$$

$$\text{従って、成長するのは}=250(匹)$$

一方、死亡の方は、

$$c:捕食率=0.3$$

従って、まず捕食されて死亡するのは、

$$500*0.3=150(匹)$$

$$d:寿命=5$$

こちらで死亡するのは

$$500*(1/5)=200(匹)$$

併せて

$$150+200=350(匹)$$

単純計算だが、 $250-350=-100$ 匹となり100匹ずつ減る

ただし、振れがあるので、いつもこれとは同じではない。

しかし、この計算で、雌が生む子供の数が1匹から10匹の間のどこかで、5匹より多そうということだけは分かる。

ここが1匹だと、

$$((500/2)*1)*0.2=50(匹)$$

10匹だと

$$((500/2)*10)*0.2=500(匹)$$

1匹だと、

$$50-350=-300(匹)$$

10匹だと

$$500-350=150(匹)$$

4)シミュレーションでレンジを決める場合

鼠の安定する数は、雌が生む子供の数が1匹から10匹の間のどこかということだけは分かっていて、多分5匹より上だろうと思われれます。ただし、変動があるので、5匹よりも少し下かも知れなません。変動が大きいとこれよりも少し超えるかも知れませんが、いずれにしろ0.1とか100匹といったレンジではないことは明確です。後は値をいろいろ変えてシミュレーションしてみます。シミュレーションでグラフの傾きや、やや長期間のシミュレーションの結果で決めていきます。シミュレーションしてみると、1匹だと、絶滅していきませんが、これはあり得ないことです。10匹だとめっちゃくちゃ増えすぎ、発散します。安定するか、少しずつ増えるはずなので、シミュレーションで5匹を中心にいろいろ値を変えてチェックし、6匹といった数値に落ち着きます。

普通は、常識や概算、定義で決まる数式から範囲が決まり、こういった暗算も可能ですが、ただし、それだけでは決められない場合、あるいは、モデルが複雑で、こんな計算ができない場合は、0.1, 1, 10, 100 と対数でシミュレーションのための計算初期値を与えて、その後、その中でもっと詳細に割り出していく方法を取ります。

Vensim PLEには山登り法などによる最適解を自動的に算出する機能はありませんので、面倒ですが、こういった方法で最適値を求めていきます。ただし、Vensim 上位機種には山

登り法による最適値産出機能があります。上記機種を使えば、一発で適切な初期値を算出できます。

日本未来研究センター
研究員
末武 透

2014.10.13
(以上)