

システムダイナミックスによる地域モデルの研究 (パワーシムを用いた板倉町における地域モデル作成に関する事例研究)

池 田 誠*

1. はじめに

「システムダイナミックス」(補足説明参照)のソフトの一つであるパワーシム(PowerSim)¹⁾の日本語版(変数名のみ日本語に対応)が2001年7月にリリースされた。このことは日本におけるシステムダイナミックスの利用や研究において画期的なことといえる。

これまで日本語が利用できるシステムダイナミックスのソフトはステラ(Stella)²⁾だけであった。しかしながら、ステラは教育用のソフトとして操作性に優れているものの試用版もなく最も安価な入手方法はテキストなどに添付されているCD-ROMを利用するだけで、これにはファイルの保存機能が無いという制約があった³⁻⁸⁾。

一方、パワーシムは以前から3ヶ月間の試用期間で150変数までのモデル作成とシミュレーションが実行できるソフトを無料でダウンロードして利用できるサービスが提供されている。今回は日本語版ができ、それを無料で試用することが可能になったことで、システムダイナミックスの利用価値を確認することが誰でもできるようになった。このことは特に教育面において重要である。即ち、学内で特別に用意されたハードやソフトを利用して学生が教育を受ける場合に、実際に自らの学習や研究、あるいは卒業後、社会人や研究者になった際に、高価なハードやソフトを購入しなければ利用できないようなものであれば教育に適したツールとは言い難いものであると考えられる。このことは単に大学等における教育面だけではなく、今回のパワーシムの日本語版が、自治体や企業、市民などの利用においても同様の問題を解決したこととして大きく評価される点である。

さらに、世界的に注目されつつあるシステムダイナミックスの新しい活用方法であるグループによるモデル作成(グループモデルビルディング=グループモデリング)⁹⁾という面でもパワーシムの試用可能な日本語版のリリースは重要な意味を持っている。自治体や一般の企業、市民などの個人がシステムダイナミックスのモデル構築を行おうとしても、変数名などで日本語を利用できなければ、英語表記やローマ字表記では一覧性が弱まることで職場や市民活動などでグループモデリングを行う際の制約となっていた。そのような点を改善できることも、今回の日本語版リリースの意義につながるものといえる。

ここでは、地域モデルを例にパワーシムの基本操作を含めながら、持続可能な地域づくりを考え

*東洋大学国際地域学部; Faculty of Regional Development Studies, Toyo University

る際の基本モデルの考え方を紹介することとする。このことによりシステムダイナミックスの普及が欧米だけでなくアジア諸国などに比較しても大きく遅れている我が国において、教育や研究だけでなく市民活動面などでも幅広く活用され、グループモデリングが普及することを期待している。

2. パワーシムの操作

- (1) ダウンロードとインストール：まず始めに、試用版をダウンロードしてパソコンにインストールする必要がある。(ダウンロードサイトや手順は、パワーシム HP [1] を参照)
- (2) パワーシムの起動後、プロジェクトの設定、シミュレーションの設定、使用する単位の設定を行う必要がある。単位の厳密さはパワーシムの特徴の一つである。

① プロジェクトの設定：図1に示すような画面で、左のメニューツリーの中からプロジェクトを選択してダブルクリックするとプロジェクト設定画面が表示される。シミュレーションで使用する暦を「Bank（銀行用）Fiscal（財政用）Gregorian（カレンダーと同じグレゴリー暦）」の中から選択し、基本となる時間単位（Time Unit）を設定する。ここでは「年（Year）」を選択している。

② シミュレーション設定：図2では、図1の画面上中央の Simulation をクリックして「Simulation Setting」を選択する。シミュレーションの開始時間（Start Time）と終了時間（Stop Time）を入力し、計算の期間間隔（Time Step）を入力する。ここでは1990年から2010年までと設定して、これまでの10年間で再現するモデルを作成して、今後の10年間で計算することとしている。計算期間の間隔は1/3年とした。

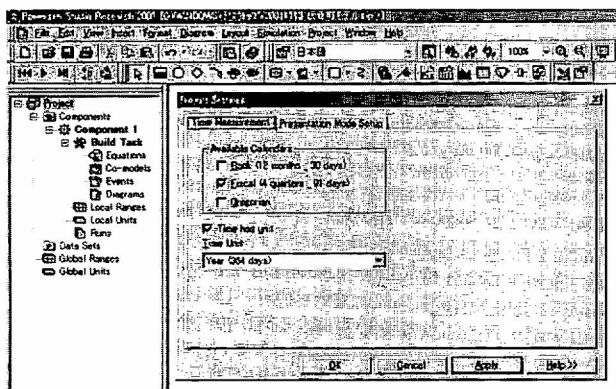


図1 PowerSim のプロジェクトセッティング

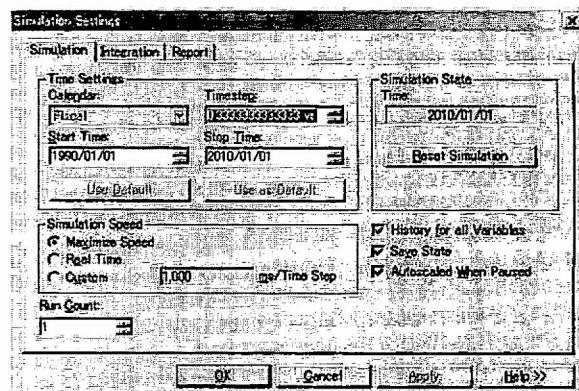


図2 シミュレーションセッティング

- ③ 単位の設定：次にシミュレーションで使用する単位を設定するため、図3の左枠のツリー形式で表示されているメニューの中から一番下の「Global Units」をダブルクリックする。「Long name」と「Plural name（複数形）」を入力（日本語では単数も複数形も同じ）し、「Normal unit」を選択し、DefinitionでDerivedを選択する。時間に関する単位は初期設定されているので日本語の「年」に対応する「yr」をUnitの中から選択し「<<」でScaleの

右に表示されるようにする。初期設定されていない単位を用いるときには、例えば「人」であれば Definition の欄で Atomic を選択する。(単位の変換も定義しておくとも良い。例えば「千人」は、Derived で $1,000 * \text{人}$ とする。)

- (3) 課題の設定：上記の設定が終了するとモデル作成を開始することになる。まずモデル作成の目的を明確に記述しておく。図4に例示するような「宣言文」と呼ばれる文でグループモデリングなどを行う際にはグループの目標を確認するためにも必要であり、作業が完成した際に発表用の画面としても利用できるのも明確に記述しておく。(PowerSim はパワーポイントと同様のプレゼンテーション用ツールとしても使えるので、モデルの作成プロセスをそのまま発表できる実践的な機能を備えている特長がある。) 作図は「日本語」という表示のある下の四角をクリックしてボックスを表示させ、右クリックして Edit Text を選択する。(文の改行は Ctrl + Enter キーで行う。)

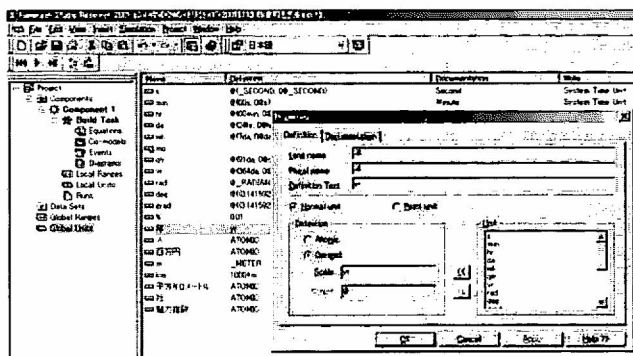


図3 単位の設定

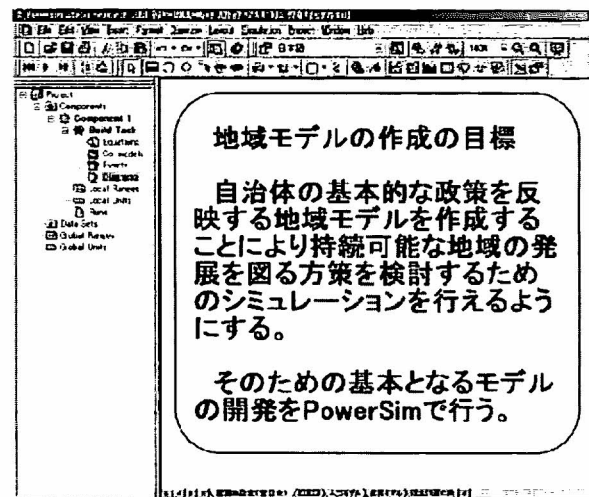


図4 宣言文(課題の設定)の例

- (4) 言語モデル(バーバルモデル)：宣言文の次に課題を通常の言語によって文章表現する「言語モデル」と呼ばれる作業を行うことがしばしば必要となる。「概念モデル(頭の中にあるモデル)」はグループモデリングの際にしばしば作業の混乱をもたらすので、グループの参加者の概念モデルを文章表現しながら作業の前に相互に共通の理解を確認しておくことが必要となる。

図5では、東洋大学板倉キャンパスのある板倉町の人口の変化(減少から増加に転じた構造的な変化)について確認する部分を紹介している。

- (5) 因果図(コーザループ)：宣言文と言語モデルを基に因果図(因果関係を明確にしたフローチャート)を作成する。因果図を作成する段階もグループメンバー間の概念モデルの違いを共通のものにしていく作業として有効である。作図で用いる矢印は「日本語」という表示のある下の「矢印」をクリックして使用する。図6では地域の人口を決定するモデルの部分を中心に因果図にしている。

課題の状況

板倉町の人口は、住民基本台帳ベースで1990年の16,255人から1997年の15,810人まで減少し、その後ニュータウン等の効果により2001年には16,261人にまで増加してきている。このように板倉町の人口は、これまでの10年間に人口の減少地域から人口増加地域へと転換してきているので、その背景的要因のインパクトを把握することが人口フレームを推計するに際して求められることとなる。このことを踏まえて、新しい総合計画の実施によって達成されるであろう目標年次(2010年)における人口フレームを推計することが求められる。

人口フレームの推計作業の結果求められる数値は、次のとおりである。

2010年の人口フレーム	
現状のトレンド	人
総合計画の実現	人

参考:これまでの推移

板倉町の人口推移は、住民基本台帳ベースによれば次のとおりである。

板倉町の人口推移(住民基本台帳)

	人口
1990	16,255
1991	16,191
1992	16,139
1993	16,076
1994	16,009
1995	15,927
1996	15,885
1997	15,810
1998	15,908
1999	16,066
2000	16,185
2001	16,261

(注:1990年は推計値)

図5 概念モデル:文章による課題の詳細な記述例

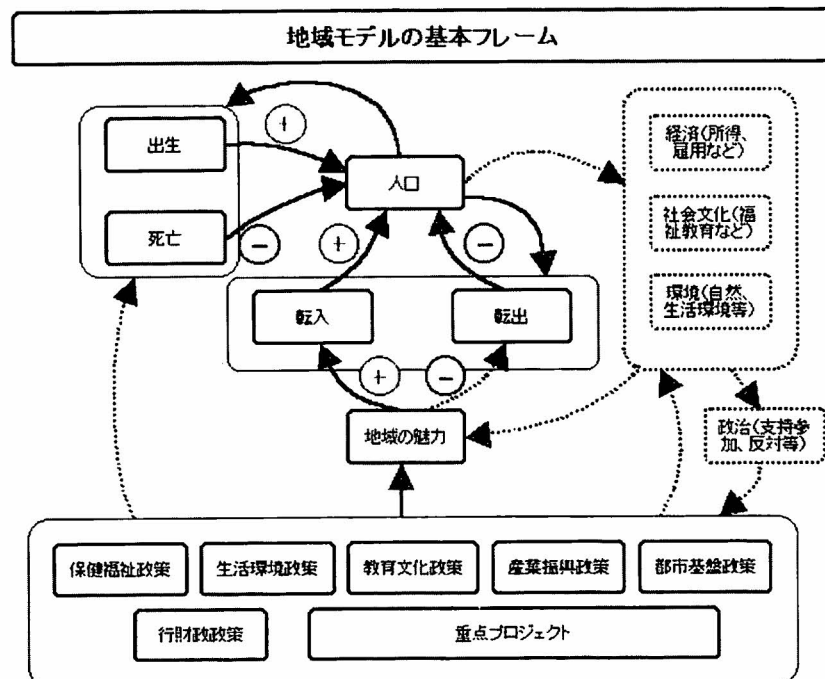


図6 地域モデルの因果図

出典: PowerSim を用いて池田作成

- (6) モデルの作成：システムダイナミクスのモデルはレベルと変数、定数、フローによって記述されるが、青と白の二層に描かれた□(レベル)、白い○(変数)、◇(定数)、矢印型のフローの絵をクリックして画面上にドロップすることで作図できる。それぞれの情報を繋ぐ矢印は◇の右にある矢印キーを用いる。

1 封鎖人口モデル(コホート法を住民基本台帳人口ベースに変更)

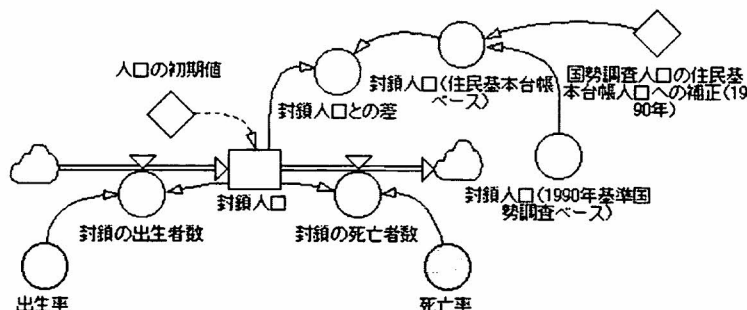


図7 地域モデルの作成(封鎖人口モデル)

出典：PowerSim を用いて池田作成

- ① データの入力：モデルで計算する数値以外のデータ情報（ここでは封鎖人口モデルの基礎となるコホート法で推計した人口の値）は、下図のような GRAPH 関数を用いて入力する。入力された情報がどのような単位であるかを明確にしていけることが PowerSim では厳格に求められる。右下の選択肢の中から Units をクリックして単位を表示させ、その中から選んで決定する。ソフト側でどのように認識しているかは GRAPH 関数を入力した下のバーに「=15,701人」と表示される。作業の間違いなども赤字でコメントが表示されるので、それを参考にしながら作業を進めることができる。
- ② 計算式の入力：なお、他の変数や定数を利用して計算式を作成する場合には関連する変数などが矢印で結ばれていると下の枠に変数名が表示されるのでそれを選択しながら式を作成することができる。図は「封鎖人口*出生率/100」という式を入力した例である。

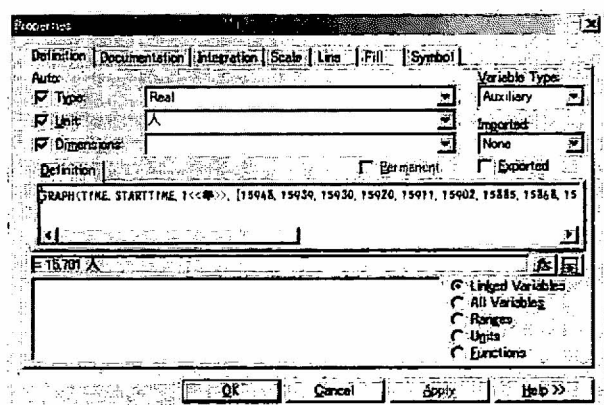


図8 変数として実績値などを入力する際の例

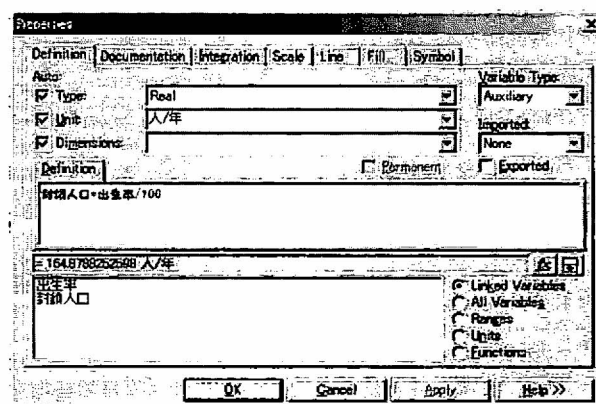


図9 計算式の入力例

- (7) モデルの例1：板倉町の総合計画を検討するために作成されたモデルを参考事例として示す。実際に計算を行う際には、ツールボックスの最も左下にある三角形のプレイボタンをクリックする。

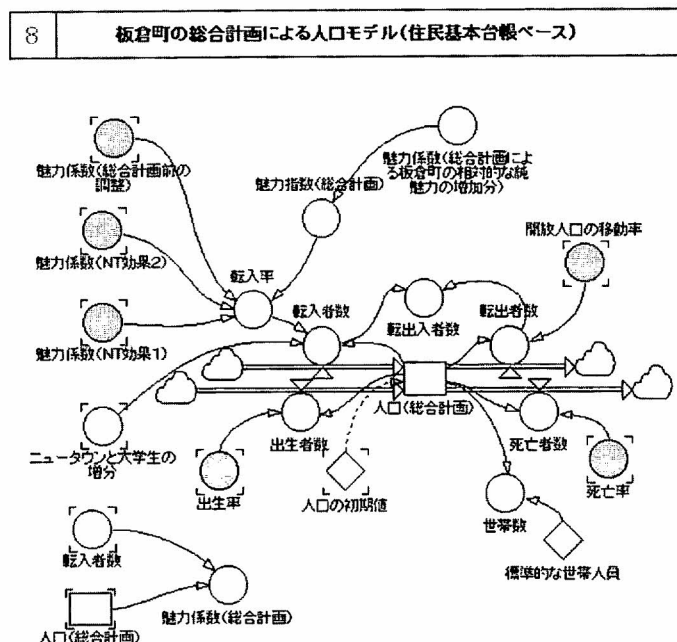


図10 板倉町の地域モデル(人口モデル)

出典：PowerSim を用いて池田作成

- (8) モデルの例2：総合計画における政策と実現度と魅力度をモデル化した。内容は個別の政策ごとに10年間の計画期間内での実現度を想定し、政策ごとの魅力度(基準値は1)を係数化して指標とした。図11は、個別の基本施策から街づくり基本施策の魅力係数を合計する部分(下)と基本施策から基本施策と重点プロジェクトを最終的に魅力指数で合計する部分(上)である。グラフは色による表示のため白黒印刷では分別し難いが、上から街づくりの基本施策、重点プロジェクト、総合計画の全体の魅力を示している。全体の魅力が低く押さえられているのは上の図の魅力指数(街づくりの基本施策分と重点プロジェクト分)でウェイトをコントロールして最終的な魅力指数を2.5%程度にコントロールしたためである。
- (9) 政策のシミュレーション部分：パワーシムではシミュレーションの条件を自由に変えられるようにコントロールパネルが簡単に作成できる。図はまちづくりの基本政策に関わる魅力度を変更するためのコントロールパネルである。(ツールバーでは100%という表示の下にボタンが表示されているので、作成は簡単である。)
- (10) 基本モデルの推計：基本モデルによる推計結果は図13および次のとおりである。

2010年の人口フレーム 現状のトレンド 17,450人 総合計画の実現 19,250人

- ① まず、1990年から1995年までの板倉町の人口推移の構造を基本パターン(即ち、ニュータウンの直接的な効果が無い場合を代表するもの)とし、コーホート法の推計値から得られた出生率、死亡率、移動率によってニュータウンの影響を受けない板倉町の従前からの人口推

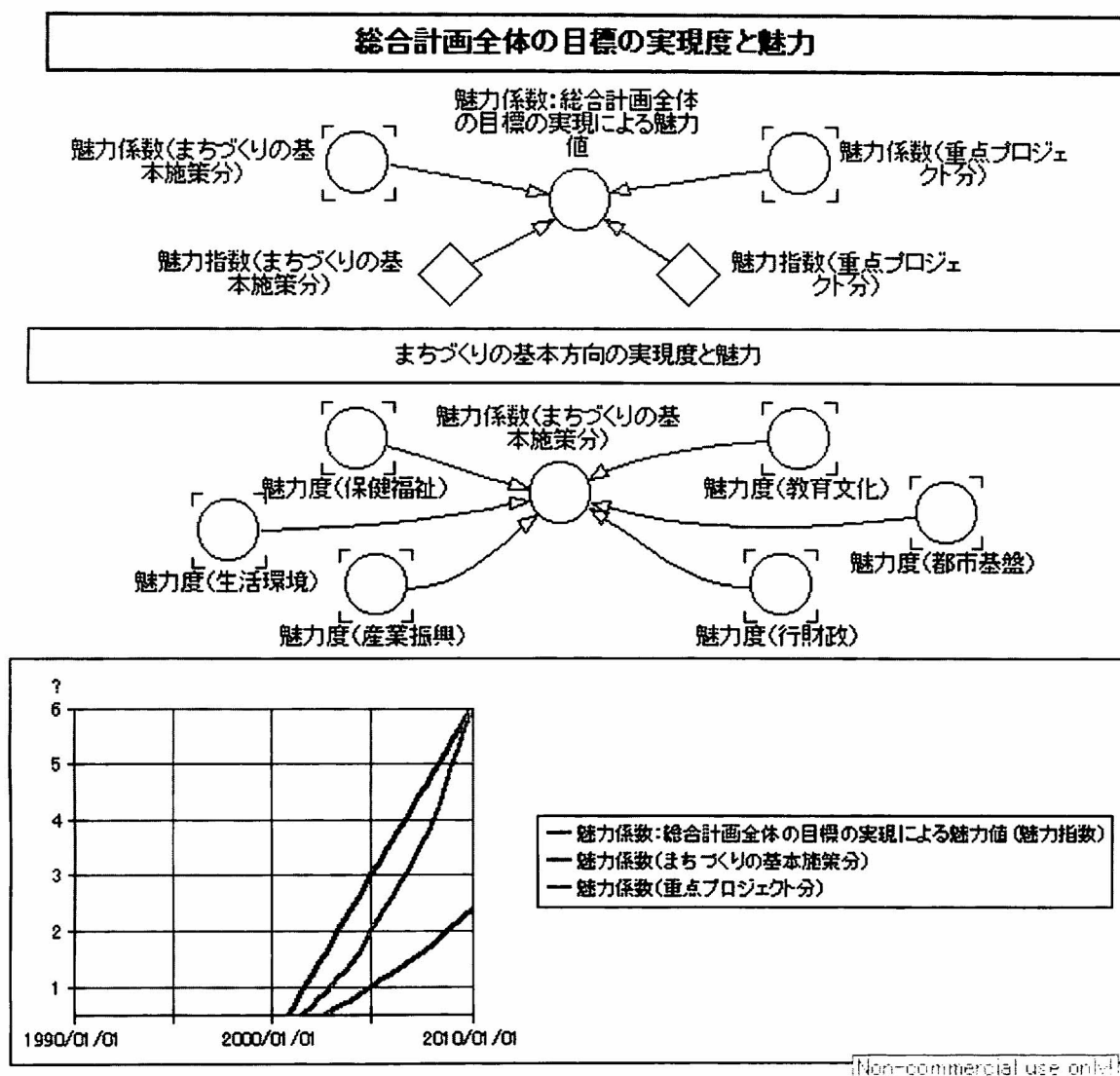


図11 モデルの例：地域モデルにおける政策と魅力度
出典：PowerSim を用いて池田作成

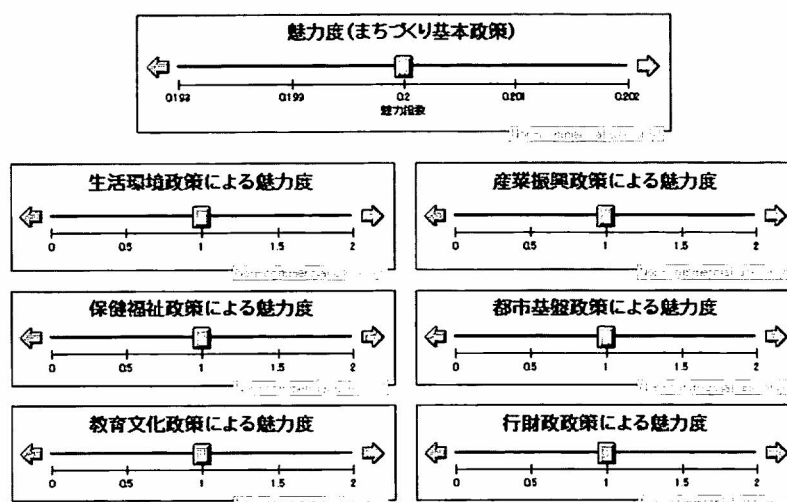


図12 シミュレーションのためのコントロールパネル例

移(地域の出生や死亡、転出入に関わる従前からの人口の姿)とみなすこととした。この基本構造を1990年の住民基本台帳ベースの人口に当てはめて開放人口ベースを推計した(2010年の推計値は13,960人)。図13では右下がりの直線に表示されている最も低い部分で現されている。

② 次に、住民基本台帳の人口から、ニュータウン居住者や大学生の転入による直接的な効果を除いた人口(「NT等の直接効果を除いた人口」と開放人口とを比較してNT等の間接的な効果(NT等の建設効果等)を推計した(2010年の推計値は13,985人)。図13では右下がりの曲線に該当する。

③ この間接的な効果を推計した後、封鎖人口ベースで減少していく板倉町の従前と同様の部分とNT等で増加する直接的な人口の推計値(NT居住者は2010年まで年間230人増加、大学生は国際観光学科の学年進行が終了する2004年まで年間50人増加と想定)を推計した(2010年の推計値は17,450人)。注:2000年の板倉町の人口は16,208人(住民基本台帳ベース)であり、10年間の増加分は2,500であるが、単純に合計した値18,700人が2010年の人口とはならないものとして人口フレームの推計値とした。図13では右上がりになる低い方の曲線が該当する。

④ この将来人口は現状をそのまま延長したトレンドであるとみなして、総合計画の様々な施策や重点プロジェクトの実施によって更に人口増加が図られるものとして推計作業を実施した。板倉町の新しい将来像である「光と水とふれあいの学園都市・板倉」を実現するために検討されている6つの基本施策(都市基盤、生活環境、産業振興、教育文化、保健福祉、行財政)と5つの重点プロジェクトについて、2010年には全て完成するものと仮定して計画期間中のそれぞれの実現度、進捗度を想定し、板倉町の地域としての魅力度として転入率に影響を及ぼすものと想定した。その結果得られた推計値が19,250人である。図では一番上に位置

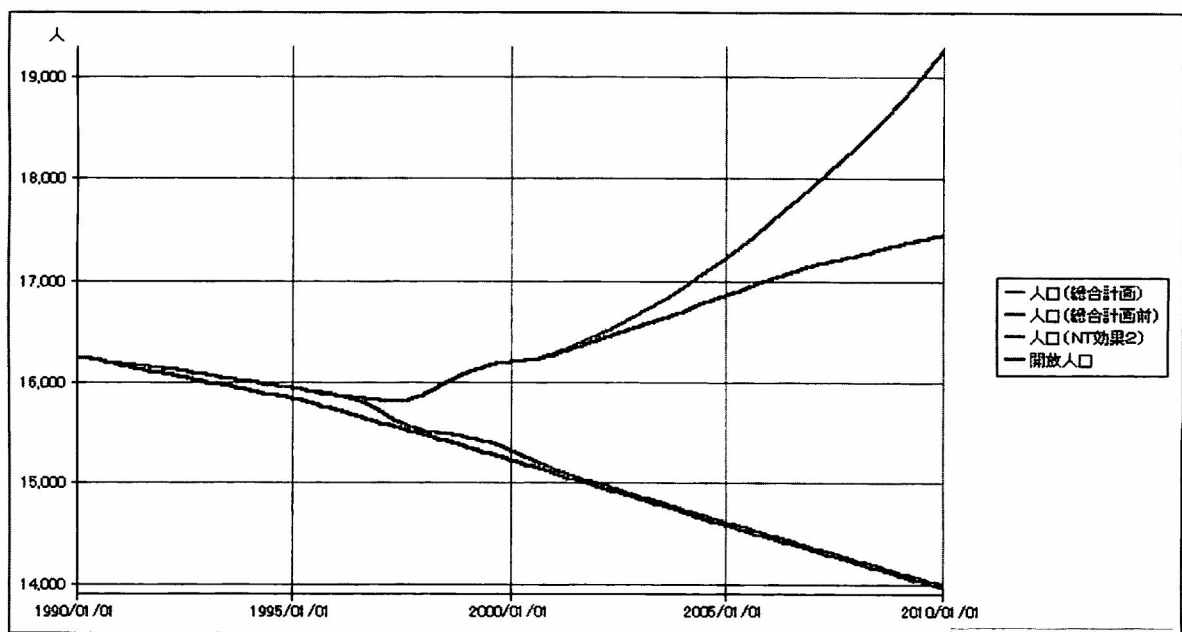


図13 地域モデルの基本パターンによる推計結果例(グラフ表示)

出典: PowerSim を用いて池田作成

する曲線に該当する。

- (11) 結果の数値表示：上記のグラフに対応した数値は次のような表形式でも表示できる。ここでは1年毎の表示を行っているが、シミュレーションセッティングでの指定時間区分に対応して1年を更に分割して表示することも可能である。なお、整数化を省略したために人口に小数点が表示されている。
- (12) シミュレーション：コントロールパネルの説明を既に(9)で行ったが、実際にシミュレーションを行う際には、ツールボックスの最も左下にある三角形の巻き戻しボタンをクリックすることによって初期状態に戻すことでコントロールパネルの中のボタンが変更（操作）可能になる。設定したコントロールパネルの条件に従って再計算を実行するためにはプレイボタンをクリックする。

地域の政策や重点プロジェクトの魅力係数や、それらがどのような時期にどの程度実施され具体化されていくかで、将来人口は現状推移型（トレンド型）の17,450人から19,250人の間程度に位置するものと考えられる。

3. 結 び

本稿では、システムダイナミックスの日本における教育・研究・応用面で画期的なソフト「パワーシム日本語版」がリリースされたことを受けて、その利用方法を中心に筆者が作業を行った東洋大学板倉キャンパスの立地する板倉町の人口モデルを事例として紹介した。今回の板倉町人口モデルの作業では、ニュータウンや大学の立地に伴う地域構造の転換を分析すると共に地域の基本的な政

Time	開放人口	人口(NT効果1)	人口(NT効果2)	人口(総合計画前)	人口(総合計画)
1990/01/01	16.255.00 人	16.255.00 人	16.255.00 人	16.255.00 人	16.255.00 人
1991/01/01	16.172.65 人	16.185.08 人	16.191.56 人	16.191.56 人	16.191.56 人
1992/01/01	16.088.15 人	16.112.34 人	16.138.71 人	16.138.71 人	16.138.71 人
1993/01/01	16.004.25 人	16.028.31 人	16.074.39 人	16.074.39 人	16.074.39 人
1994/01/01	15.921.93 人	15.945.86 人	16.010.40 人	16.010.40 人	16.010.40 人
1995/01/01	15.834.15 人	15.857.96 人	15.943.95 人	15.943.95 人	15.943.95 人
1996/01/01	15.724.07 人	15.747.71 人	15.864.87 人	15.875.47 人	15.875.47 人
1997/01/01	15.595.22 人	15.618.66 人	15.713.80 人	15.825.47 人	15.825.47 人
1998/01/01	15.472.99 人	15.496.26 人	15.512.58 人	15.874.70 人	15.874.70 人
1999/01/01	15.352.07 人	15.375.15 人	15.453.15 人	16.087.74 人	16.087.74 人
2000/01/01	15.225.74 人	15.248.63 人	15.318.30 人	16.208.54 人	16.208.54 人
2001/01/01	15.099.82 人	15.122.52 人	15.131.76 人	16.268.34 人	16.278.33 人
2002/01/01	14.972.25 人	14.994.76 人	14.995.90 人	16.402.93 人	16.453.06 人
2003/01/01	14.845.35 人	14.867.67 人	14.868.80 人	16.551.32 人	16.672.79 人
2004/01/01	14.717.66 人	14.739.78 人	14.740.90 人	16.699.19 人	16.925.02 人
2005/01/01	14.589.13 人	14.611.06 人	14.612.17 人	16.850.91 人	17.217.70 人
2006/01/01	14.463.40 人	14.485.14 人	14.486.24 人	17.006.80 人	17.557.66 人
2007/01/01	14.338.46 人	14.360.01 人	14.361.11 人	17.145.67 人	17.925.44 人
2008/01/01	14.212.66 人	14.234.02 人	14.235.11 人	17.250.26 人	18.306.53 人
2009/01/01	14.087.72 人	14.108.91 人	14.109.98 人	17.353.81 人	18.742.94 人
2010/01/01	13.963.36 人	13.984.35 人	13.985.41 人	17.455.93 人	19.246.17 人

Non-commercial use only!

図14 地域モデルの基本パターンによる推計結果例（テーブル表示）

出典：PowerSim を用いて池田作成

策の実施による魅力の変化をモデル化した。しかしながら、基本施策が産業振興などによって地域の就業機会を増加させ、その結果が地域の魅力や転入率に反映するというような所謂 SD 本来のフィードバックループを含むダイナミックな関係まではデータ面や時間制約などによって構築できなかった。今後、施策の具体化と併せて総合計画の進捗管理や、今回のモデルに対する検証の意味も含めて、5年後あるいは10年後の作業において SD モデルが引き続き利用されることを期待している。さらに本稿ではパワーシム日本語版の利用方法にも重点をおいたが、本稿が日本における SD を用いた教育・研究・応用の幅広い利用の一助になることを期待している。

補足説明

「システムダイナミックス (SD)」は、1972年のローマクラブ報告「成長の限界」¹⁴⁾ で世界的な注目を集めた D. メドウズらによる「ワールド・ダイナミックスモデル」が有名である。このワールド・モデルは、20年後の1992年に D.メドウズらにより再検討が加えられ「限界を越えて」¹⁵⁾ として出版されている。システムダイナミックス (SD) そのものは、MIT の J.W. フォレスター教授が創始者であり、「アーバン・ダイナミックス」¹¹⁾、「インダストリアル・ダイナミックス」¹²⁾ や N. フォレスターの「ナショナル・ダイナミックス」¹³⁾ などが有名である。世界的には国際 SD 学会を中心に地球環境モデルから地域モデル、企業モデルなど活発な応用と研究が進められている。日本では国際 SD 学会日本支部が活動を続けている。SD を用いた日本における地域モデルの応用と研究は首都圏モデル²⁰⁾、山梨県モデル²¹⁾、津市モデル²²⁾、過疎化モデル²³⁾などを始め多くの実績がある。なお、首都圏モデルに関しては池田が現在、国際 SD 学会日本支部の分科会において検証作業を行っている。また、国際 SD 学会ではフォレスター教授を始めとする K-12プログラムが進められており幼稚園児から高校生までを対象としたシステム思考の教育が進められている。

参考文献

- 1) Powersim (Powersim Corp.の日本のディーラーPOSY 社の HP) <http://www.posy.co.jp/>
- 2) STELLA 株式会社ウェブの HP <http://www.univcoop.or.jp/vw>
- 3) 池田 誠、国際システムダイナミックス学会発表「最近の SD 研究と教育」(2000年7月)
- 4) 池田 誠、「研究プロジェクト：ネットワーク環境における学習支援マルチメディアデータベースの構築と活用システムダイナミックスのグループモデリングと学習支援データベースに関する実験的研究」東洋大学情報センター・情報科学論集、2001年4月
- 5) 森田道也編著「経営システムのモデリング学習—STELLA によるシステム思考—」、牧野書店、1997年
- 6) 岡野道治ほか著「理工系システムのモデリング学習—STELLA によるシステム思考—」、1997年、牧野書店
- 7) Vensim (Ventana Systems 社の HP)
<http://www.vensim.com>
- 8) DYNAMOP III (中央大学小林秀徳教授の HP) <http://www.fps.chuo-u.ac.jp/~kobaken0/>
- 9) 国際システムダイナミックス学会日本支部の HP http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jsd/index_j.html
- 10) J.W. フォレスター著、小玉陽一訳「ワールド・ダイナミックス」日本経営出版会、1972年
- 11) J.W. フォレスター著、小玉陽一訳「アーバン・ダイナミックス」日本経営出版会、1970年

- 12) J.W. フォレスター著、石田晴久ほか訳「インダストリアル・ダイナミックス」紀伊国屋書店、1971年
- 13) Nathan B. Forrester “THE LIFE CYCLE OF ECONOMIC DEVELOPMENT” 1973, Wright-Allen Press, Inc.
- 14) D.H. メドウズほか著、大来佐武郎監訳「成長の限界」ダイヤモンド社、1972年
- 15) D.H. メドウズほか著、茅 陽一監訳「『限界を超えて』生きるための選択」ダイヤモンド社、1992年
- 16) 小玉陽一著「システムダイナミックス入門：複雑な社会システムに挑む科学」講談社、1984年
- 17) UNCRD, Gaming Simulation Exercise for Sustainable Regional Development PANGAEA (Nagoya, Japan, 1998)
- 18) M.R. グッドマン著、蒲生叡輝ほか訳「システムダイナミックス・ノート」マグローヒル好学社1981年
- 19) Maryland Virtual High School Instructional Activity “Succession from Sand Dune to Maritime Forest on a Barrier Island”, Aili Carlson, Sarah Clemmitt, December 6, 1995
- 20) 島田俊郎、徳永勇雄、大滝 厚、大久保哲夫共著「首都圏システム・ダイナミックス・モデルの研究」明治大学科学技術研究所報告、総合報告第1号、明治大学科学技術研究所発行、1981
- 21) 山梨県企画県民局統計調査課「平成5年度山梨ダイナミックスモデル開発報告書」1993年3月
- 22) 津都市総合モデル開発研究委員会、三重大学人文学部伊藤達雄研究室、津市市長公室「津都市総合モデル開発研究報告書」1995年3月
- 23) 北海道東海大学国際文化学部教授原俊彦著「過疎化のシステム・ダイナミックス・モデルの構築とその展開」2000年3月

以上