

# 持続可能な発展と地方自治体における 政策形成とシミュレーション

—— システム思考とシステム・ダイナミクスによるモデリング ——

池田 誠\*

## 1. はじめに

本稿は、システム思考とシステム・ダイナミクスの手法を用いて、持続可能な社会の構築のあり方、方法論、あるべき姿などを課題として追求するため、地域開発データベースと計画作成・評価支援シミュレータの開発・整備を行う研究プロジェクトにおいて調査・研究を推進してきた活動の成果を取りまとめたものである。このプロジェクトでは、アジアにおける国際共生社会の実現に向けた新たな地域開発政策の立案のための計画作成・評価支援シミュレータの開発・整備を行う実証的なグループ・モデリングを研究中であり、本年度は国内で実証的なケーススタディを行うという位置づけで実施された。具体的には、群馬県地方自治研修所と共同で、平成16年度政策形成能力研修「地域政策工房コース」において、「持続可能な発展と地方自治体における政策形成とシミュレーション」を実施してきた。

今回の自治体の職員の方々による実証的な研究の成果は、内外、特にアジアにおける多くの地域の持続可能な発展に応用可能な手法でもある。システム思考とシステム・ダイナミクスの統合的な教育や研究、実務、地域活動などに用いるための基本ソフト SimTaKN とそのモデルを中心にしたデータベースは、今後のシステム思考とシステム・ダイナミクスの普及や教育・研究等の発展に向けて重要な成果になるものと期待されている。本研究から内外に発信される革新的な計画・評価の方法論の一つとして重要な役割を担うことができれば幸いである。

## 2. システム・ダイナミクスの定義と持続可能な地域づくり

システム・ダイナミクスによる環境モデルについて説明する前段として、最初にシステム・ダイナミクスとシステム思考とは何かを簡単に明らかにし、次にシステム・ダイナミクスのモデルと地域での活動を結びつけているアトキソンのサステイナブル・シアトルの活動を事例として紹介することとする。

---

\*東洋大学国際地域学部教授

### (1) システム・ダイナミックスとは

システム・ダイナミックス (System Dynamics 略称 SD) は、コンピュータによるシミュレーション (模擬実験) 手法の一つである。1950年代に米国マサチューセッツ工科大学 (MIT) 教授のフォレストラーが創始し、企業経営や地域開発、地球環境問題など様々な分野に応用されてきている。システム・ダイナミックスを要約すると「複雑なシステムの時間的な変化を解明する手法」である。複雑なシステムの典型的な構造としてフィードバック・ループを有するシステムが対象となる。原因と結果が相互に入れ替わりながら時間的に変化していく仕組みの動きを直感的に理解し、予測し、制御することは一般的にはかなり難しいことと考えられている。特に、それぞれの因果関係が、直線的な関係ではない場合 (非線形性) や、多数のループからなる場合 (多重ループ) には直感的な判断とは全く異なる動きを示す場合がある。そのような非線形多重フィードバック・ループ構造を有するシステムをコンピュータで、実験的に動かしてみる (シミュレーションしてみる) ことができるようにする手法である。しかも、因果関係の図をグラフィックに作成していくことで、非線形な複雑な関係を高度な関数方程式を用いなくても比較的簡単な操作で再現できる手法である。

その簡単なモデリングの考え方について、シアトルの事例を交えて紹介することとする。

### (2) システム・ダイナミックスと持続可能な地域づくり

アラン・アトキソンの「カサンドラのジレンマ：地球の危機、希望の歌」<sup>2)</sup> が2003年に翻訳出版された。アトキソン自身がシステム・ダイナミックスの長期にわたる理解者であり、システム・ダイナミックスとして世界的に注目された1972年の「成長の限界」<sup>3)</sup> の世界モデルを開発したメドウズらと親交を重ねてきた経歴の持ち主である。しかも、アトキソン自身は自らがモデルを構築するのではなく、モデルを理解し、その考え方やシミュレーションの意味を作詞作曲し、歌や市民活動を通じて環境保護活動や市民活動を行うコンサルタントでもある。このことから、本書は、システム・ダイナミックスのモデルについても平易に説明がなされているので、システム・ダイナミックスによるシミュレーションの考え方を学ぶ入門書としても適当である。アトキソン自身も関わった経験によれば、1990年代の半ばに市民活動の先駆的な試みといわれるようになった「サステイナブル・シアトル」で、アトキソン等は長い検討と討議の結果、シアトルにおける持続可能な地域づくりの指標を作成した。「野生のサケ」や「生まれたときから貧しい暮らしを強いられる子供達の数」、「ダウンタウンでの少年の非行や犯罪」、「特定企業 (ボーイング社) への依存」など1991年当時としては大変ユニークな指標報告書を作成し、他の地域の手本となった。この活動に、アトキソン自らが関わり、このようなユニークな指標づくりをすることを考えた背景には、自然からのフィードバック情報や、あるべき都市の状態からのフィードバック情報を、市民活動における地域づくりの中に取り込むことが重要であるというシステム・ダイナミックスの考えがあったという (同著207頁<sup>2)</sup>)。

このケースで重要な点として指標化と併せて指標が相互に関連づけられてフィードバック・ループを構成しているシステムとしての地域のストーリーがある。「サステイナブル・シアトル」では、シアトルらしい自然との調和を示す指標である「野生のサケ」と地域の不健全さを示す「貧しい子



けで簡単に全体を動かしてみることを目標とする。(作業時間の目安は2時間程度)

サステイナブル・シアトルのイメージ・シミュレーションのモデル化と方程式は次のとおりである。まず、最初に、もっとも関心の高い「野生のサケの数」について、「定常状態」を創り出す。システム・ダイナミックスの基本は、「あらゆるシステムが増加と減少のバランスの上に成り立っている。」ということである。その微妙なバランス(均衡状態=定常状態)を相当数の期間に渡って少しずつのほんのわずかな増加や減少が累積的に影響を及ぼして大きな変化をもたらすことになるのである。ここでは、シミュレータ・ソフトとしてSimTaKNを利用しているが、円筒形の図形で表されているが、その他のシステム・ダイナミックスのシミュレータ・ソフト(ステラ、パワーシム、ベンシムなど)でも、システムの状態(レベル、ストック、蓄積)を示す箱が用意されている。「野生のサケの数」は毎年、おおよその数が確認されることとなり、親のサケの数から増加するサケの数がきまり、死滅していくサケの数も決まるものと考え、「野生のサケの数」から引き出した矢印で「野生のサケの数」の情報を得て、「増加」と「減少」にはそれぞれ増加率・減少率を乗じて計算している。最初は、バランスしている状態をつくるということで増加率も減少率も0.05と同じ数値を仮定する。

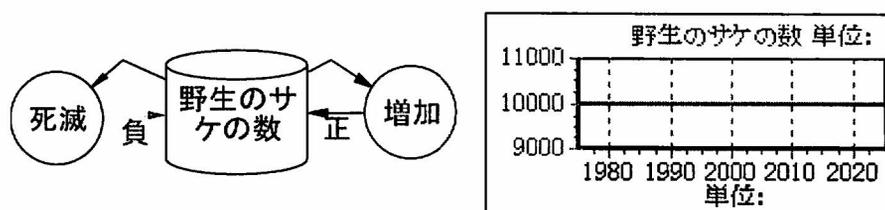


図2 サステイナブル・シアトルの基本モデル図(1)

$$\begin{aligned} \text{野生のサケの数}(t) &= \text{野生のサケの数}(t-dt) + (\text{増加} - \text{死滅}) \times dt && \text{初期値} 10000 \\ \text{増加} &= \text{野生のサケの数} \times 0.05 \\ \text{死滅} &= \text{野生のサケの数} \times 0.05 \end{aligned}$$

この状態で、最初のモデルは完成である。計算実行して均衡状態であることを確認する。

次にシアトルでは郊外部の宅地開発によって荒らされた自然の影響でサケの生息地が減少してきていることが、サケの繁殖を妨げている状態を創り出す。「郊外部の開発の蓄積された影響」が年々増加し、その逆数としてサケの繁殖環境としての「サケの生息地」が減少する。その値を「サケの増加率」に乗じることで、減少している現状を表すモデルを創り出す。

更に、最も一般的な自然回復運動として「サケの稚魚の放流」を行うと仮定する。モデルでは、人工孵化した稚魚を増加数の中に加える。そして、郊外部の開発による影響が、稚魚の放流の有無でどのように変化するかを比較して確かめる。郊外部の開発が継続的に行われるために野生のサケの減少傾向は緩やかになるものの減少傾向は続き、さらに多くの稚魚の放流が必要となり、野生のサケの割合はどんどん少なくなり、人工孵化のサケばかりになっていく。多くの大都市の近郊の河川で生じている現象がモデルとして表現される。以上のように、この段階では、正確なデータが無い状態であるが、基本的なストーリーをシミュレーションとして表現することが可能である。

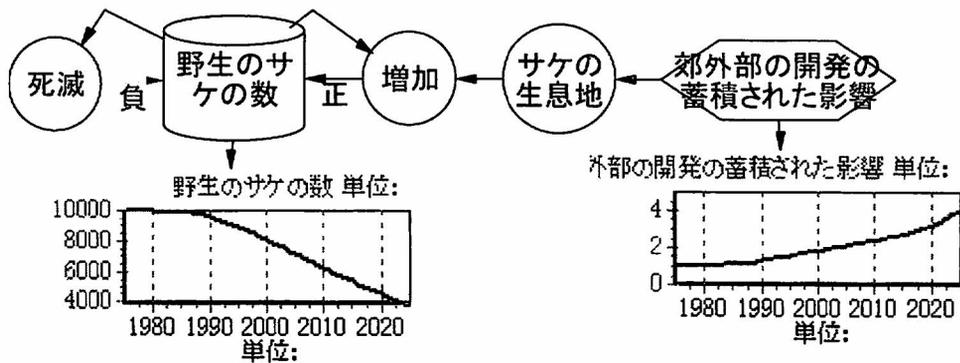


図3 サステイナブル・シアトルの基本モデル図(2)

増加 = 野生のサケの数 × 0.05 × サケの生息地  
 サケの生息地 = 1 / 郊外部の開発の蓄積された影響  
 外部の開発の蓄積された影響 = データ (time)

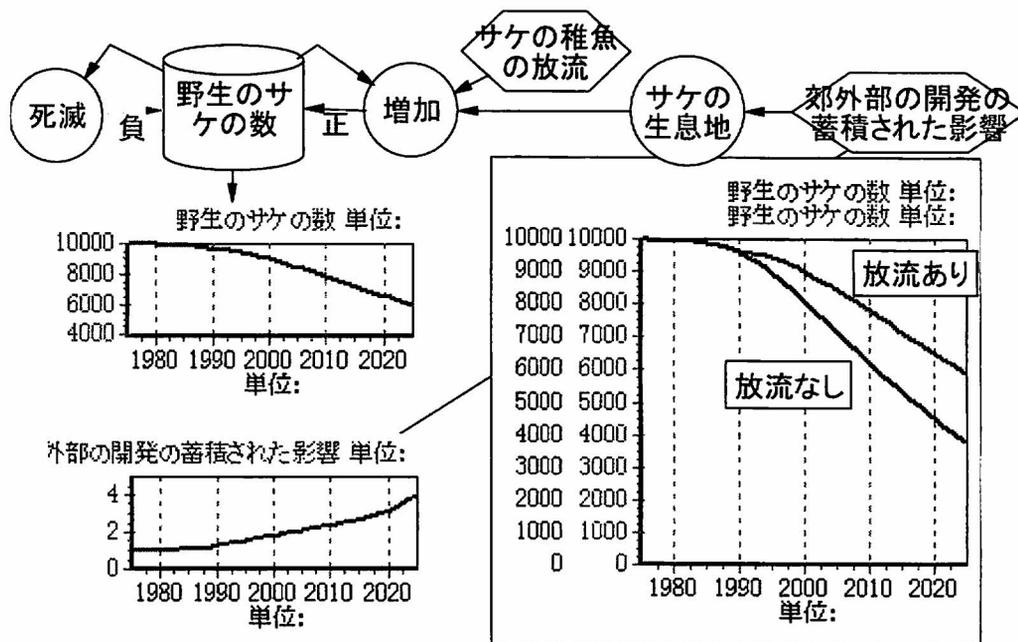


図4 サステイナブル・シアトルの基本モデル図(3)

増加 = 野生のサケの数 × 0.05 × サケの生息地 + サケの稚魚の放流  
 サケの稚魚の放流 = データ (time)

それでは、サステイナブル・シアトルの全体のストーリーはようになっていくのであろうか。シアトルでは、ボーイング社とその関連会社による雇用に地元全体が依存する状態が続いていたが、だんだんそのような状態はハイテク企業や情報産業などの発達に伴って低下して行つつある。このことは、新しい企業での就職に高度な職業的な知識や訓練を必要とする事態をもたらし、単純労働を担ってきた人々に失業をもたらすだけでなく、新たな雇用機会の減少という厳しい状況をもたらした。「貧しい子供達は犯罪に走りやすい傾向がある。そのため、人々は犯罪を避けようとしてどんどん郊外に引っ越して、自動車を交通手段とし始める。すると、サケの生息地の破壊につながる……

というわけだ。一方で、我も我もと皆が郊外に逃げ出せば、都心部への学校への援助が減り、それがまた子供達に悪影響を与える。こうしてこの悪循環は、地域社会が何らかの決定的な行動を起こさない限り、果てしなく続いていくことになる。」という。これらの一連の動きを上記と同様にイメージ段階でモデル化して相互に関連づけると次ページの図5のようになる。

図5の右下のグラフは、サステイナブル・シアトルの活動の成果として、より高度な「職業訓練」の実施、都心部の学校への「教育の投資」の増加、「公共交通機関の復活」、「中心部の再開発」などの実施によって、中心部の魅力を高め、郊外部への開発圧力を低下させることで、郊外部の自然がもつ再生能力を復活させ、サケの生息地をあまり破壊しないようにし、野生のサケを復活することができるであろうということを示している。

このようにサステイナブル・シアトルにおける当初の関心と政策全体の因果関係図をもとに、因果ループ図（CLD）から直接モデル化（＝イメージ・モデリング）を行うことができる。

#### (5) ダイナミック・モデリングの方程式

以下に、モデルの方程式を添付しておく。（SimTaKN で作成したモデルの方程式は、エクセルにデータや計算結果とともに次のように書き出される。）

サステイナブル・シアトルのイメージ・シミュレーションの方程式

野生のサケの数 (t) = 野生のサケの数 (t-dt) + (増加-死滅) × dt      初期値10000

サケの稚魚の放流 = データ (time)

増加 = 野生のサケの数 × 0.05 × サケの生息地 + サケの稚魚の放流

死滅 = 野生のサケの数 × 0.05

サケの生息地 = 1 / 郊外部の開発の蓄積された影響

都心部の学校への援助 = 1 / 郊外部の開発の蓄積された影響

郊外部の開発の蓄積された影響 = 郊外部の開発による自然破壊

郊外部の開発による自然破壊 (t) = 郊外部の開発による自然破壊 (t-dt) + (郊外部の開発 - 自然の回復力) × dt

郊外部の開発 = 自動車を交通手段とする割合

自然の回復力 = 郊外部の開発による自然破壊 × 0.02

自動車を交通手段とする割合 = (郊外部への移転圧力 + 郊外部の開発の蓄積された影響) / 100

郊外部への移転圧力 = 子供たちに悪影響を与える。

子供たちに悪影響を与える。 = 少年犯罪

少年犯罪 = 貧しい生活の子供達の数 × 少年犯罪への環境因子

少年犯罪への環境因子 = 1 / 親の就業による子供たちの生活環境や教育環境

教育の投資 = 政策 2 なし

公共交通機関の復活 = 政策 1 なし

中心部の再開発 = 公共交通機関の復活



職業訓練=0.5

職業訓練=新しい知識や技術を必要とする度合い×職業訓練×政策3なし

子供たちの生活環境や教育環境=教育の投資+中心部の再開発+都心部の学校への援助

親の就業による子供たちの生活環境や教育環境=貧しい人々が新しい職業に就く×子供たちの生活環境や教育環境

貧しい人々が新しい職業に就く=職業訓練/新しい職業に就くことの難易度

新しい職業に就くことの難易度=新しい知識や技術を必要とする度合い

新しい知識や技術を必要とする度合い=1/地元雇用のボーイング社依存傾向

ボーイング社依存傾向=データ (time)

(6) インプリケーション

このシミュレーションから得られる地域づくりの含意（インプリケーション）は、シアトルらしさを表す「野生のサケ」がシアトルの都市と環境の調和を表し、乱開発が進むとサケも都心部の良さも失われるという点と、中心部の復活がサケの復活の指標にもつながっていること、そして、おそらくサケの復活は自然に恵まれた北の都市シアトルの住みやすさや観光の指標にも密接に正の相関をもっているであろうという点である。

都市の自然や歴史・文化などの地道な基盤を大切に見据えた地域づくりが、結果的に本来のその地域固有の地域らしさをもたらし、住む人にも訪れる人にも快適な地域づくりにつながるのではないだろうか。

このようなインプリケーションを指標化したり、モデルにつけ加えたりしていくことが更なるモデルの改良へとつながる。そのために、ここでは、SimTaKNでは「関係箱」、一般的なシステム・ダイナミックス用のソフトでは「グラフ関数」や「テーブル関数」と呼ばれる機能の説明を追加する。この「関係箱」は、関数を数式で表さずにグラフや表の形で表現してシミュレーションを行うことができるもので、アンケートなどの意識データの入力にも役立つ。

ここでは「野生のサケの数」と「地域の住みやすさや観光地としての魅力の指標」が、どの程度

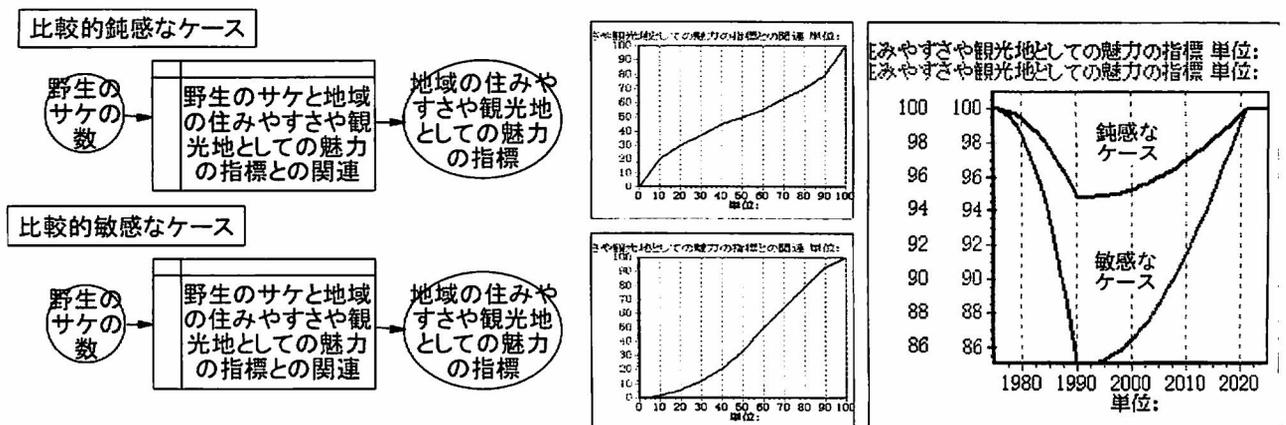


図6 関係箱（グラフ関数/テーブル関数）の説明

敏感に関連しているかで、政策の効果も異なって評価されるかもしれないことを表現している。上段の比較的鈍感なケースでは悪化の影響も小さく、政策の効果も少なく評価される。下段の比較的敏感なケースでは悪化の影響も大きく、政策の効果も大きく評価される。このような評価項目は、アンケート調査などで住民や観光客の意識調査を行い、モデルに組み込むことで、現実に近い形でのシミュレーションが可能になる。

以上のようなイメージ・モデリングを行いながら、地域の実際のデータを取り入れ、それぞれの変数間の関係を調査しながらモデルの実証化が図られることが次の段階になる。

地域の持続可能な発展や環境問題に取り組むためには、システム・ダイナミクスによるモデルのシミュレーションと、地域におけるリーダーからの地域ビジョンや市民などからの意見などのフィードバック情報が蓄積されてくることで本来のシミュレーションと政策の意味が理解されてくるものと思われる。

日本においても1990年代の半ばころから行政評価指標が着目されているが、指標の裏側にある指標相互の関係、即ち、地域のダイナミックな変化を物語にして伝えるストーリー展開があるはずであり、重要なことはそのストーリーがどのような将来をもたらし、どうすればそれをより良いものに改善することができるかという点である。このような意味で、システム・ダイナミクスは、持続可能な地域づくりを進める最も基本的な道具（ツール）の一つになってきているのである。

### 3. まとめ

本稿は、システム思考とシステム・ダイナミクスの説明を分かりやすく紹介し、新しいシミュレータ・ソフト SimTaKN の利用を紹介した。これらの SimTaKN を用いた地域モデルなどの様々なモデルのデータベースはインターネット上の SimTaKN 専用掲示板として取りまとめられている。このような政策研究はモデリングやシミュレーション、更には実行や評価も含めて不断の探求であり、地域の人々との対話でもある。地域の具体的なテーマへの応用や歴史的な観点からのモデリングなど今後の新たなテーマも多く、更なる研究が今後の課題となっている。

最後に、SimTaKN の開発者中村州男氏を始め、これまでシステム思考やシステム・ダイナミクスの考え方や教育方法、モデリングなどについて多くの示唆と刺激を与えて下さった国際システム・ダイナミクス学会、国際開発学会などの方々や、教育研究の機会や教育研修プログラムを実施して一緒に思考し実験して下さい下さった方々に心から厚く感謝を申し上げて結びといたします。

#### 参考文献

- 1) SimTaKN の HP (URL <http://hp.vector.co.jp/authors/VA017379/>)
- 2) アラン・アトキソン著、枝広淳子監訳「カサンドラのジレンマ：地球の危機、希望の歌」PHP、2003年
- 3) D.H. メドゥズほか著、大来佐武郎監訳「成長の限界」ダイヤモンド社、1972年
- 4) SD のソフト：Powersim (Powersim Corp.の日本のディーラーPOSY 社の HP) <http://www.posy.co.jp/>
- 5) SD のソフト：STELLA (㈱バーシティウェブの HP) <http://www.univcoop.or.jp/vw>

- 6) NHK「地球白書2000」の元になっている「地球白書」は毎年米国のワールドウォッチ研究所から出版されている。最新版はレスター・ブラウン編著「ワールドウォッチ研究所『地球白書 2002-03』」家の光協会。また、このほかにも地球環境問題のデータベースを発行している。(Worldwatch Institute, "Worldwatch Database Disk", 2000)
- 7) 池田 誠「システム・ダイナミクスによる地域モデルの(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)」東洋大学国際地域学部紀要「国際地域学研究第5号」2002年3月
- 8) 島田俊郎、池田誠共著「システム・ダイナミクスの「首都圏モデル」検証 第1報-DYNAMOと日本語版 STELLA, POWERSIM-」明治大学「明治大学教養論集通巻354号」2002年3月
- 9) ピーター・M. センゲ著、守部信之監訳「最強組織の法則：新時代のチームワークとは何か」徳間書店、1995年
- 10) バージニア・アンダーソン/ローレン・ジョンソン著、伊藤武志訳「システム・シンキング」(問題解決と意思決定を図解で行う論理的思考技術) 日本能率協会マネジメントセンター発行 (2001年10月)
- 11) マーニーほか著「システム思考とモデリング：変化と複雑さの理解のために」(Kambiz E. Maani & Robert Y. Cavana, "System Thinking and Modelling/Understanding Change and Complexity", Prentice Hall, ISBN 1 877258 00 8, 1999)
- 12) 池田のホームページ参照 (URL <http://www2.toyo.ac.jp/~mikeda/>)

## Planning and Simulation Capability of Local Government Staff for Sustainable Development

Makoto IKEDA

The key issue facing local Japanese government is improving the planning and Simulation capability of government staff; local governments in particular want to do more but lack the geo-political power. In this paper I try to introduce a very simple image-modeling method by using System Dynamics.