

# 日本における SD 研究と新しい方向性の考察

～地域モデルを中心にした考察～

講演論文

## History of SD Studies in Japan and New Direction

池田誠 (Makoto Ikeda) 末武透 (Toru Suetake) 中村州男 (Kunio Nakamura)  
 東洋大学国際地域学部 日本未来研究センター NPO 情報化ユートピア  
 m-ikeda@toyo.toyo-net.jp.ac ts178051@yahoo.co.jp johoka@ae.wakwak.com

**Abstract:** Introduction of SD to Japan was not so late after Jay W. Forrester, founder of System Dynamics invented this methodology. Youichi Kodama and other Japanese pioneers translating Forrester's works almost immediately after publishing in USA. They promoting SD with series of trainings and seminars that efforts for development of many SD models among large enterprises such as NTT, Kansai Electric, and local governments including Miyagi Prefecture, Chiba Prefecture, Kanagawa Prefecture, Hyogo Prefecture and Shiga Prefecture aim to using for formulation of their long term business plans and long term policy developments. In 1990, Professor Toshiro Shimada suggested to establish JSD: Japan Chapter of System Dynamics Society and this academic society has been continuing study of SD and SD related issues. In this paper, authors aim to review history of SD in Japan and try to find the direction based on new approach of SD such as micro-macro linkage community development towards achieving millennium development goals based on water supply model. Also we try to consider MAS: Multi Agent System link with macro-micro linkage and study of incorporation of AHP with SD

**キーワード:** キーワード: ミレニアム・ゴール、水道モデル、コミュニティ開発、AHP、MAS

**要旨:** 日本に SD が紹介されたのは、SD が米国のフォレスター教授によって確立されてからそう間もない頃であった。フォレスター教授のマイルストーン的な著書が発刊されると、次々と、小玉陽一氏らによって翻訳され、また、SD に関する普及・啓蒙を目的とした研修などが精力的に実施された。このことを受けて、NTT や関西電力などの大手企業や、宮城県、千葉県、神奈川県、兵庫県、滋賀県などの地方自治体が SD モデルを構築し、シミュレーション結果を長期経営計画や政策策定に活用することも行われた。

1990 年代に入り、明治大学の島田俊郎教授の提唱により、国際システム学会日本支部が設立され、SD 研究や SD に関連するトピックスに関する研究発表が行われ、現在も継続している。本稿では、日本における SD の啓蒙普及や研究の歴史を振り返り、さらに、現在行われている、AHP の取り込みや、水道モデルを例に、マクロ・ミクロ・リンケージを考慮したコミュニティ開発とミレニアム・ゴール達成の関係のモデル化の研究など、新しい試みを紹介し、今後の研究の方向性の考察を試みた。なお、現在、本テーマに関して、マルチエージェント・シミュレーション (MAS) による検討も加えているので、SD と MAS との関連性に関する考察も行う。

### 1. はじめに

本稿は、国際システムダイナミクス学会日本支部の創設者であり、SD 研究をリードされてきた島田俊郎 明治大学名誉教授の追悼を目的として、日本における SD 研究の過去・現在・未来を考察したものである。一部ではあるがシステム・ダイナミクス(SD: System Dynamics)は実学であり、実学には歴史や哲学などは不要であるとする偏った見方もある。しかし、過去に行われたさまざまな試みを歴史として振り返り、それを土台に今後の研究の方向性を考察することは意義があり、今回の追悼記念講演は日本での SD の普及・啓蒙や研究の歴史を振り返ってみるに相応しい機会であると考えて本稿をまとめた。本稿は、島田俊郎名誉教授への追悼の意味も込めて、このような考えに立ち、日本において過去に行われたさまざまな SD の研究・応用・普及の試みをまとめ、今後の方向性や可能性の一端について筆者らの個人的な考察を試みたものである。ここに記載された内容は、システム学会日本支部の公式見解ではなく、筆者らの個人的意見や体験を感想的に述べたものであることを先にお断りしておきたい。

筆者たちはいずれも、日本における SD 創世記時代に SD 研究・応用・普及に携わったわけではない。従って、本来であれば、日本支部の 2 代目会長であった亀山三郎中央大学名誉教授や 3 代目会長であった小林秀徳中央大学教授、日本支部創設に係った小島崇弘教授、内野明教授など専修大学商学部で SD 研究に携わっている先生方や、もと日本大学工学部教授だった榛沢芳雄教授や福田敦教授などの先生方が、日本での SD 研究・普及や日本

支部の歴史を語られることがもっとも相応しいと考えている。筆者たちはいずれも、この任には非力であることを承知しつつ、島田名誉教授や亀山名誉教授など諸先輩方から聞いた日本での SD 研究の歴史を一端でも紹介し、記録にとどめておきたいと考えた次第である。従って、歴史の部分で、重大な間違いや記述漏れなどはご指摘を頂き今後加筆訂正していくこととしたい。

## 2. SD の創設と日本への紹介(1950~60 年代)

米国、マサチューセッツ工科大学(MIT)のジェイ・W・フォレスター教授 (Jay W. Forrester) によって SD の最初概念が確立されたのは、彼が、1956 年に、創設間もないマサチューセッツ工科大学スローン経営大学院に教授として招かれ、経営に自然科学や工学的な概念を導入しようと考えたことがきっかけであった。彼は、自分が研究していた自動制御の考えをもとに、ゼネラル・モーター・ケンタッキー工場の経営分析を行い、フィードバックの考えで経営をシミュレーションできることを発見する。フォレスター自身は、この紙の上で実施したシミュレーションが最初の SD であると後に語っている。そして、彼の弟子たちと共にこのシミュレーションの考えを、汎用コンピュータを使って計算させるために、SD シミュレーション言語である DYNAMO を開発し、また、経営をシミュレーションできるという彼の考えや実例を *Industrial Dynamics* としてまとめ、1961 年に出版した。[1]

(注 1) 東京大学計算センターの石田晴久教授が、この *Industrial Dynamics* を翻訳し、1971 年に出版したきっかけは、MIT 留学の友人が翻訳に難航していることを知り、手助けのつもりで翻訳したのが始まりという。ただ、この翻訳の出版前に、渡辺一司・坂倉省吾著の『インダストリアルダイナミクス』(1967) が出版され、これが、日本への SD の最初の紹介になっている。通産省に勤務し、米国の MIT に留学派遣された坂倉省吾氏は、SD を有効な経営手段で日本に是非紹介すべきであると考え、この『インダストリアルダイナミクス』を執筆したという。

その後、フォレスターは、ボストン市前市長で、都市問題を MIT で教えていたジョン・コリンズとの会話から都市開発に同手法を応用するようになり、1969 年に、*Urban Dynamics* [2] を発表した。同書は、コロンビア大学に留学して米国で SD を知った小玉陽一氏が翻訳し、1970 年に出版した。その後、フォレスターの著作は主に小玉氏の翻訳によって次々と日本に紹介されていった。(小玉氏は、ブルーバックスから、『システム・ダイナミクス入門』[3] を 1984 年に出版するなど、日本での SD 啓蒙・普及に大きな貢献を行っている。)

1970 年、フォレスターは、ローマクラブから地球問題に関する研究の打診を受け、1970 年のベルンでのローマクラブ会議の後、ボストンへ帰る飛行機の上で世界モデルの構想を練る。ただ、フォレスターは当時、ボストン市街地開発プロジェクトで忙しく、世界モデルの開発及びシミュレーションは、フォレスターの弟子のメドウズ (Meadows) たちのチームが担うことになった。フォレスターは自分の構想を 1971 年に *World Dynamics* [4] として出版し、メドウズたちの研究は 1972 年に『成長の限界』(The Limit to Growth) [5] として出版されている。成長の限界は、当時の第 1 次石油ショックとも相俟って、世界的なブームを呼んだ。日本でも大来佐武郎監訳でほぼ英語での出版と同時に、1972 年 5 月にダイヤモンド社から出版され、ブームとなっている。大来佐武郎の伝記[6]によれば、ローマクラブからの誘いで同クラブに参加し、その際にこの書を知り、監訳を引き受けたという。この『成長の限界』も、SD を日本で普及させる大きな原動力となった。ただ、残念なことに、この『成長の限界』はその後のさまざまな批判を受け、大来氏自身は最期には『成長の限界』での結論に対して批判的な考えを持つようになり、一步引いた発言をするようになる。

## 3. 日本における SD 啓蒙・普及の歴史

日本での SD 普及は、最初は経営科学の紹介と啓蒙普及の一環として実施された。1960 年代後半は、経営を科学として取り扱う考え方が日本にも広まり、多くの大学で経営工学科が創設され、LP (線形計画法) や PERT: Program Evaluation and Review Technique など OR: Operations Research を中心とした経営工学手法が教えられた。さらに、急速に普及し経営に取り入れられていたコンピュータ・ブームがこれに拍車をかけた。これら新設の経営工学科で教えられる科目の中に、SD が取り上げられ、在庫モデルなどが紹介された。当時は、大学が計算機センターを設立し、コンピュータ・プログラミングなども大学で教えられていたが、SD のシミュレーション言語である DYNAMO のコンパイラを備えた大学の計算機センターは島田名誉教授の明治大学などのほかあまり多くなかった。そのためか、小玉氏などは BASIC で SD モデルのシミュレーションを実施できるような工夫を行っている。

米国でも当時は、SD は OR の一部として取り扱われ、また、日本での SD 紹介も OR の一部として行われたため、SD 普及・啓蒙も、最初は OR の一環として行われた。もともと国際学会では SD 研究は OR 学会での研究の

一部として取り扱われていたこともあり、日本でも日本オペレーションズ・リサーチ学会の中に、システム・ダイナミクス研究部会が1973年～1977年に結成され、2回目は1988年～1991年に結成された。この研究部会でさまざまな研究が推進され、またこの第1回目の研究部会の活動が、日本におけるSDの普及・啓蒙を推進することになった。当時の日本でのOR学会は、宮川公男一ツ橋大学教授が指導的な役割を果たして、宮川教授はこれらのSD研究やSD啓蒙・普及活動に支援を惜しまなかった。

企業など民間へのSDの普及・啓蒙では、財団法人日本科学技術連盟（日科技連）が積極的にSDの紹介を推進した。日科技連は、1971年に、渡辺茂東大工学部教授中心としたSD研究委員会を発足させ、企業経営、生産、価格モデルなど、企業内における主要なモデルを教育・研修用に開発し、これを基に、インダストリアル・ダイナミクス・セミナーを開催し、SDの企業への普及を行った。このセミナーは大変好評で、1972年、1973年と3年連続で継続された。なお、このセミナーは、米国でID (Industrial Dynamics)からSDに1972年から名称変更されたことを受け、1972年からは名称も「システム・ダイナミクス・セミナー」と改められている。1973年10月から11月にかけて実施された第3回目のセミナーの内容を見ると、前期、中期、後期の3期に分け、それぞれ3日間の計9日間の講義になっている。この3回目のセミナーの講師として、渡辺茂東大工学部機械工学科教授、小玉陽一日本システム・ダイナミクス研究所所長、丸田正樹いすゞ自動車企画本部電算主査、渡辺一司光洋精工経営調査室長、上田慶四郎大丸本部システム推進室長、大沢光たばこ総合研究センター研究員、宍戸俊一日本電気情報処理システム本部員、堀比呂志関西電力企画部次長の8人が担当し、前期はSDの基礎やDYNAMOのプログラミングについて、中期は事例研究として、環境モデルや流通・在庫モデル、資金計画シミュレーション・モデルなどが紹介されている。そして、後期では応用演習ということで、企業モデル、生産・在庫モデル、合板価格モデルの3つのモデルを使っての演習が行われている。通常、企業向けセミナーというと、いきなりモデル構築やシミュレーションの話に入ることと思われるが、このセミナーでは、前期の基礎編で、問題の捉え方など、SSM (Soft Systems Methodology)で議論されてきたようなシステム化以前の話題に小玉講師がかなり時間を割いている点が注目される。また、十分練られた実際の企業モデルを事例に使っていて、モデルをそのまま企業に応用できるような工夫がされている点も、コンセプトとして今でも十分参考になる。[7]

ただ、第1回のシステム・ダイナミクス研究部会の活動が一旦終了し、日科技連などを中心にSDの普及・啓蒙の中心を担っていた人たちが、職務多忙や、配置換え、昇格などでSD普及の第一線を離れると、積極的にSDを企業や民間に普及・啓蒙するという勢いが薄れていった。この時期に停滞した外部要因として、石油危機による不況の影響も考えられる。

これらSDの経営への応用とは別に、工学部建築学科などで、都市工学の手法としてSDが紹介され、注目された。これは、フォレストアーバン・ダイナミクスの流れをくむもので、日本では東京工業大学を中心に研究され、津市などの都市開発にも応用された。[8]

#### 4. 日本における企業へのSD応用(1970年代)

SDの日本の企業への応用は、先の日科技連のSD研究委員会の企業メンバーが中心になり、渡辺茂東大工学部教授を中心として、まずセミナー紹介を目的とした企業モデルが作られ、それを基に、セミナー参加企業がどんどん企業モデルを構築していった。電算機ブームも到来し、日本IBM、NEC、日本ユニパックなどの電算メーカーも企業や地方自治体のSDモデル構築を支援し作られたモデルは、こういった電算メーカーの宣伝もかねて電算機メーカーの企業誌などに紹介されている。企業モデルは、企業秘密にからむため、あまり公表されることはなく、セミナーでの紹介や電算メーカーの企業誌などからその一端を垣間見られるだけであるが、NTT（日本電信電話公社）、日本専売公社、関西電力などの大手企業が当時すでにSDモデルを構築している点が注目される。いずれも1970年代前半に開発され、これらの企業の経営戦略策定の参考にされたが、開発担当者が、職務多忙や、配置換え、昇格などでモデル開発やメンテナンスの担当を離れると、その後、あまり使われなくなっていく。もちろん、開発されたSDモデルがその後あまり積極的に活用されなくなった理由は他にも多くあるので、これだけが理由ではないが、日本企業にとって残念なことであったと考える。

この時期に開発された企業モデルとしては、先の日科技連のSD研究委員会のメンバーであった丸田正樹いすゞ自動車企画本部電算主査の開発した生産・在庫モデル、そして、日本電気の宍戸俊一氏の開発した電線市場モデル、豚肉市場モデル、上田慶四郎大丸本部システム推進室長の開発した財務モデルがある。これらは、先のセミナーの教材に使われたものである。このセミナーで教材に取り上げられた、たばこ総合研究センターの大沢光氏による「たばこの世界」モデルでは、タバコ生産とタバコ消費の関係だけではなく、大脳生理や宗教、麻薬などとタバコ消費との関係なども取り上げられていて、当時の幅広い物の捉え方が伺われて興味深い。大沢氏は、

その後、このセミナーで使ったモデルを基に「たばこの世界モデル」(1974) [9]、「シガレット市場の価格構成モデル」(1974) [10]、「喫煙人口動態モデル」(1975) [11]と一連のタバコ市場に関するモデルを開発していった。「たばこの世界」モデルでは、成長の限界を検討し、たばこ需要が将来的にそれほど成長しないことを予測している点がこのモデルで注目される。また、「シガレット市場の価格構成モデル」では、ブランドなどを考慮している点で、現在 SD でも盛んに研究されているテーマを先取りしている感がある。

同じく先のセミナーの講師を務めた関西電力の堀比呂志氏は、「関電モデル」として知られる関西電力の企業モデルの開発者だが、先のフォレストの『ワード・ダイナミックス』やメドウスなどの『成長の限界』を日本に当てはめようと環境問題のモデル化に取り組んでいる。この環境問題への取り組みは、琵琶湖の汚染という問題を抱えて悩んでいた滋賀県の、1970年代後半に開発された滋賀県自治体モデルに繋がっていく。

この時期には、オフコンなど企業向け中型・小型の電算機が企業にどんどん導入され、基幹業務が次々と電算化され、戦略システムや意思決定支援システムなどの新しい電算化コンセプトが電算機メーカー主体に打ち出され、企業財務モデルなど財務に関するシミュレーションなども盛んになっていくが、DYNAMO がこういったいわゆるオフコンへの搭載がされなかったせいか、日本企業における SD モデル構築や企業経営への利用は電算機の普及とは逆に下火になっていった。また、欧米のように、日本の大学の経営学部が、SD 企業モデルを取り上げて研究し、教育教材に使うという試みもあまり行われなかった。このことも、1980年代後半になり、日本企業における SD モデル構築や企業経営への利用が下火になった原因であるように思われる。

##### 5. 日本における業界・政府または政策への SD 応用(1970年代～1990年代)

先の SD 企業モデルは、主に企業が属する市場をモデル化しているので、企業モデルと言っても、マーケティング・モデルあるいは業界モデルに近いものであるが、こうした企業が行った業界の SD モデル化とは別に、この時期、運輸省などの省庁などが政策の参考にするために SD モデルを構築している。

まず、運輸省関係では、1973年の「自動車の都心乗り入れに関するシステム分析」として、都心乗り入れに車輛に対する賦課金政策実施を行った場合の影響を分析するために SD モデルが構築され、モデルを使った政策検討が行われた。[12] 当時は増加する自家用車輛により引き起こされる交通渋滞や排気ガス問題、バス利用客の減少、貨物の集配効率低下などが問題になっていた。そこで、都心に乗り入れる自家用車輛に賦課金を課し、都心乗り入れの自家用車輛を減らすと共に、その収益を道路及び鉄道整備に使うことで大量輸送交通の制度を向上させようとする政策の実施効果をシミュレーションしようとしたものであった。シミュレーション結果は、賦課金により乗り入れ車輛が一時的に減少するが、このことにより道路混雑が解消されると再び都心乗り入れを行う自家用車輛が増えるというものであった。同じような研究は関西地区でも行われていて、阪神高速道路公団の依頼により、京都大学工学部が「料金収入予測に関する調査研究」を行っている。[13]

SD による政策検討は通産省でも実施され、中小企業政策及び新産業振興政策に関する SD モデル構築と政策検討が行われている。筆者の一人である末武も、1990年代になり、やはり通産省からの委託で、海外援助コンサルティング業界の振興政策に関する調査研究を委託され、SD/ST を使ったモデル分析を試みた。この時は、先の「インダストリアルダイナミックス」で日本に SD 紹介を行った坂倉省吾氏がかって課長を勤めていた通産省海外技術協力課からの発注であったので、氏の影響がまだ残っていたのか、SD/ST を使うことに発注者側で抵抗がなかったことを感謝している。

通産省の SD モデルでは、まず、1972年の「中小商業の効率化に関するシステム分析」が挙げられる。[14] このモデルでは、都市成長と共に商業施設がどのように発展し、一般小売業と大型小売業の競争対抗関係がどのように変わっていくかを分析している。ただ、この研究結果がどのように通産省中小企業庁の中小企業政策に反映されたかは不明である。通産省は1978年にも、「新産業の発展パターンに関する調査研究」[15]を実施していて、1967年に、最初に日本に SD を紹介した坂倉省吾氏もこの調査研究委員として加わっている。この研究では、日本を中進国と位置付け、先進国にキャッチアップしていく中でのわが国の執るべき政策を検討していて、現在でもこの手法は政策検討の上で参考になると思われる。多くのそれまでの SD 研究が、SD モデル構築だけで終わっている感がある中で、この研究は、政策をきちんと体系付け、SD モデルを使って分析を試みている点で、現在の水準から見ても完成度が高いように感じられる。

この時期、医学関係にも SD 適用が試みられていて、東京医科歯科大学医療機材研究所の池田謙一、野城真理による、「システムダイナミックスと医療システム」[16]が、1976年に発表されている。また、東京大学医学部の開原成充により、「日本の医療のアクロモデルの作成に関する理論的研究」[17]の中で SD モデルが使われているが、医療モデルの先進事例が米国にも当時まだ十分なかったことを反映してか、モデルやシミュレーションの検

討に留まっていた、政策などを提言したり、検討する段階にまでは至っていないように感じられる。故島田名誉教授も、この分野の SD モデルとして、医科歯科モデルを開発している。これは、基本的には人口モデルで、SD の適合性が高い。

大学を企業や業界として位置付けるのかは異論があると思われるが、故島田教授が手がけていた大学モデルと同じような、大学をテーマにした研究も工学院大学で 1985 年に発表されている。[18] この研究では、校舎の新設や新学科の新設などが受験者や社会に及ぼす影響、受験者増大と教育の質の関係、大学の魅力に影響する要因などを、シミュレーションを行って検討しているの、どちらかと言えば企業モデルに近いものである。

ただ、日本で SD が下火になった時と同じくして 1980 年代後半以降、こういった省庁からの委託による SD モデル構築と政策検討は下火になっていったという印象を拭えない。筆者の一人はこういった省庁の政策検討にいくつか参加したことがあるが、政策検討は、1990 年代では、数値モデルを使ってシミュレーションを行い検討するという手法よりは、第一人者を集めた政策検討諮問委員会を設置し、委員の議論でいろんな想定される問題を煮詰めていくという手法に変わっていた。部分的に数値モデルを構築し、シミュレーションで政策の効果などを検討するということが否定されているわけではないが、こういった諮問委員会方式では 1 つの参考情報として扱われるだけで、シミュレーション結果が、選択され推薦される政策に大きな影響を与えることはあまりなく、それよりも委員の専門家としての経験や知識を基にした議論によってまとめられた意見が選択され推薦される政策となる。その背景には、計量経済モデルの浸透や社会実験をシミュレーションではなくモデル事例として実施する傾向、量的発展から質的発展への変化、コミュニケーション合理性や合議の知の見直しなどが考えられる。

## 6. 日本における地方自治体への SD 応用 (注 2)

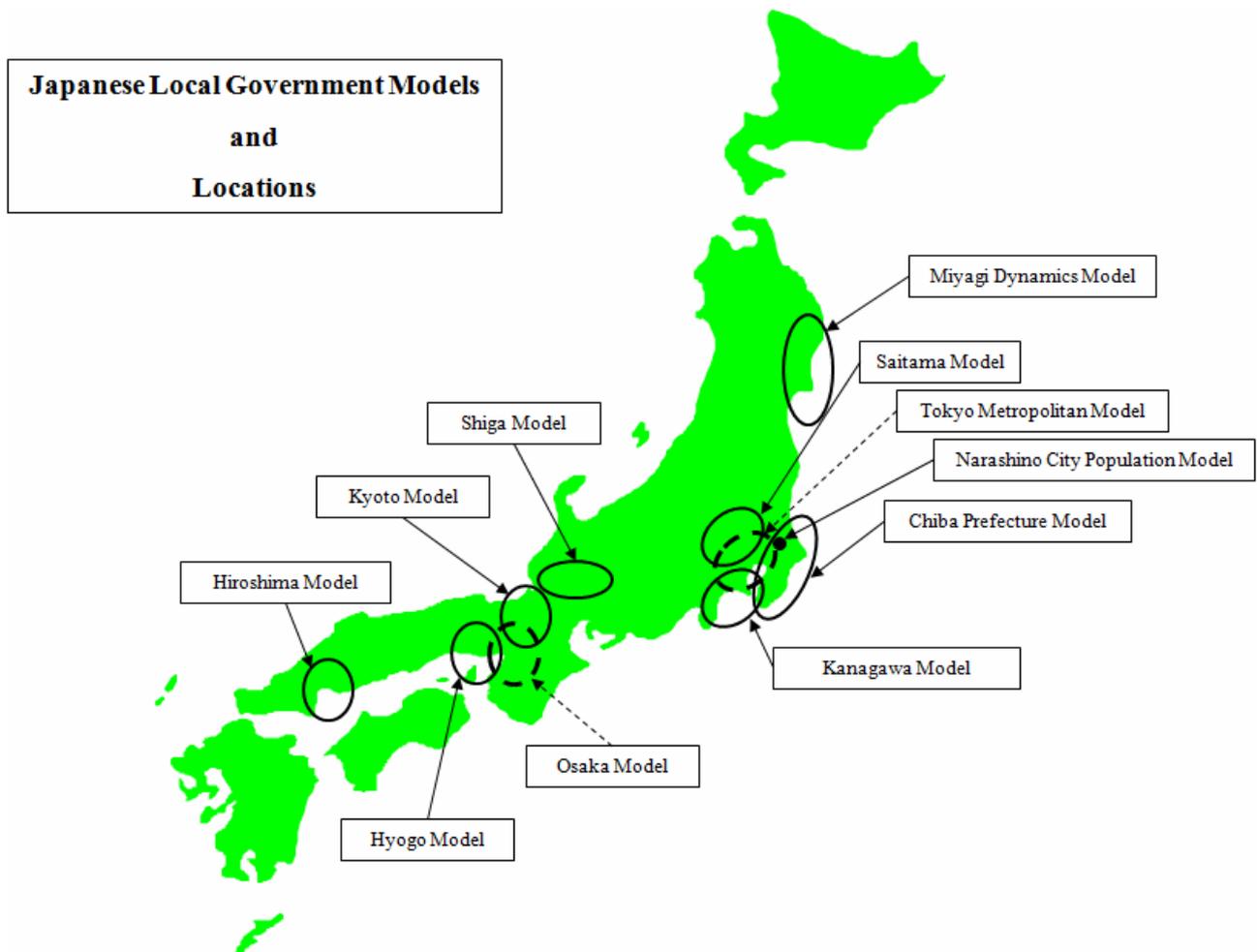


図 1 自治体モデルの対象となった自治体所在地 (Review and validation of early Japanese local government SD models より)

1970 年代後半にはさまざまな日本の地方自治体が SD モデルを構築している点が注目される。筆者の一人は、この 1970 年代後半から 1980 年代初期にかけて構築された SD 自治体モデルのことを亀山名誉教授から話を伺い、1990 年代後半になって存在を知った。その時点で、これらのモデルが構築されて約 10~20 年が経過していたの

で、シミュレーションによる予測と実際の値を比べ、SD による予測の妥当性を検証しようと試みた。この調査結果は、2000 年のベルゲンで行われたシステム・ダイナミックス学会の国際会議で発表した。モデルの概要や実際の値とシミュレーションでの予測値の比較など、この研究発表の詳細は文献[19]及び国際学会でのプレゼンテーション資料に譲り、本稿では詳細は省略し、この調査研究での体験や印象を述べる。

まず、滋賀県モデルは、日本 IBM がモデル構築を支援している。滋賀県は琵琶湖の汚染という環境問題を抱えていて、環境セクターを持つ政策モデルを必要としていた。関電の堀比呂志氏の環境モデル研究の取り組みや京都大学工学部の SD の研究経験もあったと思われるが、日本の自治体としては最初に、環境モジュールを持つ自

表1 自治体モデル (Review and validation of early Japanese local government SD models より)

Name of the models	Major simulation results	Information Resources
Miyagi Dynamics Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>Target years is 2025 (50 years after)</li> <li>Population would be grow to 3,578 thousand (1.8 times of present population)</li> <li>Aged person over 65 years would be 15% of the total population (3.6 times)</li> <li>Household would be increased to 1,181 thousands (2.2 times)</li> <li>GNP would be 10 trillion Yen (8.2 times) and agriculture sector would be reduced from 11% to 3%, industry sector would be grow from 26% to 30% and service sector would be grow from 63% to 67% in target year</li> <li>GNP per capita would be growing from 630 thousand Yen to 2.9 million Yen.</li> <li>They expect very optimistic view on environmental issues and NOx of air pollution would be reduced to 30% (8 thousand tons per year) and BOD of water pollution would be reduced to 40% (9 thousand tons per year)</li> <li>Electric consumption would be increased to 27.3 billion KWH/year (6.1 times)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Overview of Miyagi Dynamics Model</i>, manuscript report by Mr. Syoichi Toyohara, Planning Department of Miyagi Prefecture, June 1977</li> <li><i>Challenge with System Model to Socio-economic Environmental Dynamics: Development of Miyagi Prefecture Long-term Total Planning Model</i>, by T. Matuzaki et al,</li> </ul>
Chiba Prefecture Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>Target year is 1999 (21 years after)</li> <li>Population would be increase from present 4.6 million to 6.6 Million.</li> <li>Aged person over 65 years old would be increased from present 6% to 14% of total population.</li> <li>GNP would be increased from present 4.6 trillion Yen to 18.3 trillion Yen.</li> <li>Service sector would be rapidly increase from present 51% to 60%.</li> <li>GNP per capita would also present 1.1 million Yen to 2.7 million Yen</li> <li>They rather have pessimistic environmental issues and NOx of air pollution would be increased to 1.89 times and BOD of water pollution would be increased to 1.15 times worse. Also worried about solid waste material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Chiba Prefecture Vision of 21<sup>st</sup> Century</i>, February 1980</li> <li><i>Development Study of Chiba Prefecture System Dynamics Model</i>, by Japan Long Term Credit Bank, March 1978</li> </ul>
Narashino-shi Population Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>Only forecast population of Narashino City.</li> <li>Target year is 2000.</li> <li>The population would be increase from 135 thousand in 1985 to 145 thousand in 2000.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>A Population Forecast of Narashino-shi by the Method of System Dynamics</i>, by Toshiyuki Horiuchi, et al. Report of Chiba Institutes of Technology, No.27, 1982</li> </ul>
Saitama Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aim to check and validate effectiveness and reliability of SD modeling.</li> <li>Target year is 1972.</li> <li>Calculate during 1965 to 1972 on public sector capital stock, population, industry output, air pollution, traffic and find that the difference is within 10% compare with real statistic figures.</li> <li>However, we could not find out that this model use for planning process of Saitama Prefecture .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Study on Urban Area Government Planning Support System</i>, Japan Operation Research Society, March 1975</li> </ul>
Tokyo Metropolitan Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>Target year is 2005.</li> <li>Population of Tokyo metropolitan area would be increase rapidly.</li> <li>Shortage of water resources in Tokyo metropolitan area obstacle economy growth.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Study on Population dynamics in Tokyo Metropolitan Area</i>, manuscript draft of Dr. Masahige Tuji, for Japan Industrial Engineering Society, Fall 1976</li> <li><i>Study on Water Resources in Tokyo Metropolitan Area</i>, manuscript draft of Dr. Masahige Tuji, for Japan Industrial Engineering Society, Spring 1977</li> </ul>

Name of the models	Major simulation results	Information Resources
Kanagawa Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expand double of old aged population (over 65) in the 21<sup>st</sup> century</li> <li>• Increase nitro-oxide (NOx) and other pollution rapidly to be double of present state</li> <li>• Decrease the green area percentage of urban area drop down to half of present state</li> <li>• Become secure to keep water resources and only 70% of the demand could fulfill</li> <li>• Industrial structure change rapidly shift to led by the service sector</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nagakiyo Takahashi and Nagashige Shinozaki “Control and Disclosure of Local Government Information”, Jichitai No Keiei To Koritsu, I: Keiei to Gyozaisei Unei (Management and Efficiency of Local Government, I: Management and Operation, ed. Makoto Takahahi), Gakuyoshobo, Tokyo 1982, p131-147</li> </ul>
Shiga System Dynamics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target year is 2000.</li> <li>• Population grew to 1.6 million but not so rapidly increase the old age percentage</li> <li>• Decrease 10,000 ha agriculture land</li> <li>• Industry and service sector increase rapidly</li> <li>• GDP would be 5.8 times and GDP per capita would be 3.2 times of present status</li> <li>• Water pollution could be reduce 30% at 1990 but again increase and almost same level in target year</li> <li>• They have pessimistic opinion on air pollution and solid waste problem</li> <li>• Also they have pessimistic opinion on local government financial issues.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Regional Prediction using System Dynamics</i>, by Yoshio Morita and Sadaichi Okada, Nihon Denki Giho No.120/1977</li> </ul>
KLUD: Kyoto area Land Use Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target year is 1995.</li> <li>• Land use could be rapidly change and face to over population and rapidly decrease of green area.</li> <li>• They recommend to government organizational reform for abolish sectionalism to accomplish much effective city planning and urban re-development.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>KLUD I: Development of KLUD: Kyoto area Land Use Model</i>, 1974, City Planning Development, Kyoto City</li> <li>• <i>KLUD II: Kyoto City structure shift from 971 to 1995</i>, 1975, 1b</li> <li>• <i>Appendix of KLUD No.1: KLUD dynamic model equation</i>, 1976, 1b</li> </ul>
Osaka Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target year is 2000</li> <li>• They have very pessimistic future</li> <li>• Environment protection could be progress with effective energy consumption policy and improve efficiency and productivity.</li> <li>• However, social development oriented policy and low pollution policy may face up with difficulty to keep balance with high economic growth</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Dynamics Model for Urban Environment, Resources and Economic Growth I</i>, by Isao Maniwa, Ohtemon Economic Study Report, July 1974</li> <li>• <i>Dynamics Model for Urban Environment, Resources and Economic Growth II</i>, by Isao Maniwa, Ohtemon Economic Study Report, 1976</li> </ul>
Hyogo Dynamics Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target year is 2020.</li> <li>• Population would be increase from present 4.8 million to 6.3 million in 2010 but decrease after that. But urban area population increase from present 3.7 million to 4.2 million in 1995 but decrease after that.</li> <li>• Aged population over 65 years old could be increase from present 6% to 20% in 2010 in urban area. 20% in 1995 and 26% in 2020 in the prefecture level.</li> <li>• Moving population to other prefectures and urban areas would be increase rapidly than coming from.</li> <li>• Aged mortality rate is higher than infant mortality rate.</li> <li>• They recommend to prevent good socio-economic welfare for aged people.</li> <li>• They also recommend protecting to change into slum in urban area for urban re-development with deeply concerned environment protection.</li> <li>• Water resources would be shortage and recommend of recycling sewerage water.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Long-term Prospecting about Population, Pollution, Resources and Industry of Hyogo Prefecture</i>, manuscript report of Planning Department, Hyogo Prefecture, October 1973</li> </ul>
Hiroshima City Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target year is 1990.</li> <li>• Life style oriented public infrastructure investment policy cause the overpopulation and this may cause 11% increase of air pollution, heavy water pollution and traffic jam.</li> <li>• Industry development oriented public policy cause over population and heavy air and water pollution.</li> <li>• People may rather choose public transportation with suitable policy on transportation sector.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>A Dynamics Model to Analyze the Repercussions of Urban Policies</i>, by Hiroyuki Kitajima and Ryoichi Sasaki, manuscript report at July 1980.</li> </ul>

治体モデルを構築している。ただ、残念なことに、モデルは全体が SD モデルではなく、一部 SD 以外の方法を使っていた。京都市モデルは、交通モデルで、京都市は、古い町並み保存という要請と、近代化による交通渋滞という問題を抱えていて、古い町並みを保存しながら交通渋滞を緩和する政策を探るためにモデル構築が行われた。この SD モデル開発は日本ユニバックが支援を行っている。日本ユニバックは日刊工業新聞に、「コンピュータと経営科学の方法」とするコラムを掲載し、1975 年に、金子昇一氏が、このモデルのうちの「京都土地利用モデル」に関する解説も踏まえ、システム・ダイナミクスの紹介を計 2 回掲載している。[20] また、埼玉モデルは、日本 OR 学会が、SD の適用性を研究することを主目的として埼玉県と協力しながらモデルを構築している。この詳細は bit という雑誌に掲載されると共に、OR 学会誌特別号に発表されている。このように、どこかから支援を受けて構築したというモデルが多く、自治体が独自で構築したというケースは少なかつたように感じた。

筆者の一人は、この 1970 年代から 1980 年代にかけて構築されたこれら自治体モデルの詳細やその後の活用などを知りたいと思い、文献[19]の研究の際に、返信用封筒と共に質問状をこれらの各自治体に送付したが、どの自治体からも全く返事を全くもらえなかった。

収集できた情報に限りがあり、モデルの詳細などを知ることができなかつたものもあるので、正確な分析ではないが、これら構築された多くの自治体モデルは、純粋な SD モデルではなく、計量経済モデルなどとのハイブリットのモデルであるものが多かつた。例えば宮城モデルであるが、人口モジュールと経済モジュールの大きく 2 つのモジュールからなり、人口モジュールはパイプ型の人口モデルであるが、経済モデルは計量経済モデルで SD モデルではない。10 年後のシミュレーション予測と実際の値を比べてみると、実際の人口はほぼ正確にシミュレーション値と合っているが、GNP など、経済の予想は最初の 3 年間まではほぼ合っているが、その後は大きく違っている。(表 2)

表 2 Miyagi Dynamics Model and Statistical Data (Review and validation of early Japanese local government SD models より)

	Simulation Standard	Simulation Case I	Statistics
Population (thousand)	2,783	2,786	2,338*1)
Population age 0-14	21.9%	21.9%	16.5%
Population age 15-64	67.2%	67.2%	68.5%
Population age 65-	10.9%	10.9%	15.1%
Household (thousand)	876	876	787*2)
Population Density*3)	381.7	382.2	321
Labor population *4)	1,285	1,287	1,164
Agriculture	10.9%	10.8%	8.2%
Industry	29.6%	29.8%	27.5%
Services	59.5%	59.4%	63.9%
GNP (100 million Yen)	42,446	42,434	64,000*5)
Agriculture	2,025	2,021	2,699
Industry	13,420	13,446	36,923
Services	27,000	26,968	26,815*5)

\*1) population in 1996

\*2) household in 1997

\*3) person per square kilometers

\*4) thousand

\*5) GNP in 1994

\*6) GNP of simulation use price index in 1970

\*7) Standard case consider the limitation of green area and try to keep more than 75% but CASE I do not consider any conditionality of green rate.

\*8) Consumer index price in 1975 is 55.3 as 100.0 in 1997 seem to almost double.

なお、故島田教授は、この自治体モデルとして、東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県 の 3 県 1 都にまたがる首都圏モデルを構築していて、筆者の一人がその後、STELLA に置き換えている。[21]、[22]

日本で 1970 年代から 1980 年代に試みられた、企業モデル、業界モデル、そして自治体モデルに関する研究発表をレビューしての感想であるが、新しく有効そうな手法ということで SD に飛びつき、いろいろ苦勞してモデル構築を行った努力は高く評価するが、モデル構築だけでエネルギーが尽きたという印象を否めない。もちろん、当時の事情として、シミュレーションを行うためには大型汎用電算機を時間借りして使用せざるを得なく、利用代金は高く、また、DYNAMO のコンパイラを備えた電算機も少なく、SD モデルをシミュレーションできる場所も少なかつたので、厳しい条件を棚に挙げて酷評することは気の毒ではあるが、モデルを使って何をするのかという目的があまり明確ではなかつた研究が多い印象を受ける。また、開発者は SD に対して信頼のようなものを必ずしも持っていたようには感じられない。そのため、自信がない経済モジュールは、経験がある計量経済モデルで置き換えたりしている。あるいは、経験がなく構築しにくいと感じると、平気で DYNAMO ではなく、

APL などの別の言語でモジュールのプログラミングを行っていて、SD モデルとのハイブリッド・モデル、酷評すれば SD もどきではあるが SD モデルとは言えないモデルが多い。(注3) この一因として、日本ではこれらのモデル開発に関し、経済モジュールは同僚の経済の専門家に任せるといった分業で進めていったので、必ずしも SD に魅力や可能性を感じていなく、SD のことを真剣に研究しようとも考えていなかった経済の専門家などが、頼まれたので、しかたがなく経験のある計量経済モデルで代替したという事情もあると思われる。欧米などでは、経済の専門家でない SD 研究者が、経済に応用しようとして、経済学を学びながら SD を使って経済モデルを構築していったが、こうした SD 専門家が、さんざん苦勞し、試行錯誤の苦しみを味わいつつも、挫折することなく、徹頭徹尾 SD で開発を行うというやり方を日本では採択しなかったように感じられる。

欧米で、SD がその後も順調にかつ着実に普及を遂げていることと比べ、なぜ日本が 1970 年代後半から 1980 年代前半にかけて一種の SD ブームを迎えながら、その後、ブームは失速し、現在も必ずしも主流になっていない点を鑑みると、日本では歴史のどこに問題がありどこでつまづいたのか今後の検証が必要である。

## 7. JSD 設立

日本オペレーションズ・リサーチ学会の中に、システム・ダイナミックス研究部会が 1973 年～1977 年に結成され、2 回目は 1988 年～1991 年に結成された。その後、この研究部会を母体として、故島田教授の提唱で、1990 年にシステム・ダイナミックス学会(JSD)の日本支部が発足した。1995 年に東京でシステム・ダイナミックス国際会議を開催し、2000 年まではほぼ毎月、新橋の財団法人統計研究会を会場に例会を行い、SD 研究発表と国際的な研究交流を続けている。その後いろんな事情で継続されていないが、これらの例会の概要は、ニュースレターの形で毎月会員に配布するという行っている。また、国際的にはどのような研究が行われてどのようなことが話題になっているのかといった、世界の最先端の研究に関して、国際会議に積極的に参加し、収集した情報を例会で JSD 会員に伝えている。この活動は、現在も専修大学の高橋教授によって継続されている点は高く評価される。このような活動と併せて SD に関連する幅広い分野の研究者が様々な研究テーマを持ち寄ってオープンで自由参加、自由なディスカッションが推奨される月例会の復活や活性化にも期待している。

専修大学の高橋教授によれば、SD の隠れユーザーは多いとのことである。(注4) 筆者の経験でも、STELLA を購入し、グラフィック・ツールとして使っている研究者や研究所は多く、こういった研究所から調査や研究を依頼されて研究所を訪問すると、STELLA のソフトが入った箱が棚上などに載っているのをよく目にする。隠れユーザーが独自の利用方法やテーマを有していることは十分に考えられるので、こういった隠れユーザーをうまく発掘し、月例会で研究発表を行うことができるとよいと思っている。

JSD 設立の目的は、SD 研究を促進することだけでなく、日本のナショナル・モデルを構築することであった。日本のナショナル・モデルとして、1996 年に、小林秀徳中央大学教授が、財団法人統計研究会にあったパソコンを使って STELLA 版の最初のモデルを構築した。実際の政策や意思決定は国家を代表する中央政府でなされ、それが地球規模に影響を及ぼすのだが、SD 創設者のフォレスターは、最初に、インダストリアル・ダイナミクスとして企業レベル、あるいはマイクロ・レベルのモデル化手法を確立し、次にアーバン・ダイナミクスとして自治体レベルの、あるいはセミ・マクロ的なレベルでのモデル化手法を確立した。そして、国家レベルのモデル化手法をすっ飛ばして、ワールド・ダイナミクスとして地球レベルのマクロ・レベルのモデル化を完成させた。いわば、中核となる、肝心のナショナル・レベルのモデルが抜け落ちていることになる。このことをフォレスター自身が一番気にしていて、「成長の限界」の基になったワールド・ダイナミクスが一旦完成を見ると、精力的にナショナル・ダイナミクスの研究に没頭したが、1973 年にジェイ・フォレスターの息子のナーサン・フォレスター(Nathan, B. Forrester)が国民経済発展のライフサイクル・モデルを著書として発表したものの、それ以外には未だに研究成果はまとまった形でフォレスター自身から発表されていない。その辺りのいきさつは、第 2 代目 JSD 会長であった亀山三郎名誉教授がいろいろ調査され、JSD の月例会で発表されてきた。日本で、フォレスターよりも先にナショナル・モデルが開発された点は誇っていいことのように思われる。ただ、残念なことに、この日本のナショナル・モデルはあまり活用されることなく現在に至っている。

なお、2000 年以降の JSD 会長は、2000 年 4 月～2004 年 3 月：小林会長、2004 年 4 月～2010 年 3 月：森田会長となっている。

## 8. システム・ダイナミクスの近年の発展

1960 年代に、フォレスターによって創設された SD であるが、これまで約 3 回の大きな変遷を経て変わってきたように思われる。まず最初の変遷は、パソコンの普及と共に、1980 年代後半になってリッチモンドなどがパソ

コン上でグラフィックに操作できる SD ツールを開発し、このため、SD モデリングの手法が大きく変わっている。

SD モデリング言語として、まずバリー・リッチモンドが STELLA を開発し、その後、Powersim や Vensim が登場した。近年はこの3つの代表的な SD モデリング言語に日本語化機能が付加され、日本語によるモデリングやシミュレーションも可能になっている。

日本独自の SD モデリング言語の開発では、パソコン普及と共に、1990 年代初頭に SD のモデリング言語である DYNAMO をパソコン上で動かせるようにしようとする試みが行われ、中央大学の小林秀徳教授が BASIC にコンパイルして実行できる DYNAMOP III を開発し、その後、EXCEL 上で稼動するように機能変更を加えている。また、筆者らの共同による SimTaKN もグラフィックな ST/SD ツールとして開発され、AHP などの機能を組み込もうと計画されている。

パソコン上で稼動する SD モデリング・ツールの出現は、それまでの SD モデリングの方法論にも変革をもたらし、関係者を集めてディスカッションを行いながらモデリングとシミュレーションを行い、そのシミュレーション結果をもとにさらにディスカッションを進めていくという、グループ・モデリング手法が確立した。また、モデル化の対象である問題をどう捉えるかという問題の認知手法に関し、SSM (Soft Systems Methodology) や ST (Systems Thinking) といった手法や方法論も確立された。

2 番目の変遷は、ID からアーバン・ダイナミクス、ワールド・モデルと提供範囲をグローバル化させてきた SD であるが、心理的なものや非計量的なものを取り扱おうようになったことを受けて、適用範囲が本当の意味で汎用的になったと感じている。まだ、教育分野に適用が限られているが、歴史や文学などを SD モデリングで取り扱い、より深くかつより広く人間性や歴史を動かすメカニズムのようなものを考えられるようになった。

そして第3番目の変遷であるが、筆者の印象として、近年の SD 研究の焦点は、マイクロ・マクロ・リンケージや複雑系、あるいは認知と心理学の取り組みにあるように感じている。マイクロ・マクロ・リンケージは古くから SD で取り上げられている問題で、マイクロのダイナミズムがマクロのダイナミズムを生み出し、マクロの挙動がマイクロの挙動に影響を及ぼすことは昔から知られていた。これをマクロ・モジュールとマイクロ・モジュールでつないだモデルで表現するということが行われていたが、ただマクロとマイクロの関係がよく分かっていないことなどから、うまくいかない場合があった。近年、マルチ・エージェント・システムという、個々のエージェントのマイクロの挙動を集合させマクロの現象を表現するという手法が確立しつつあり、このマクロ・マイクロ・リンケージに道が開かれようとしている。この手法であれば、複雑系で知られている創発や自己組織化などの現象などもうまく説明できるのではないかと注目されている。

## 9. 今後の研究の方向性

JSD ではなく、SD 学会は 2007 年に設立 50 周年を迎えた。これを記念し、今後の SD の 50 年後を考えるというプロジェクトが立ち上がり、専修大学の高橋教授もメンバーとなっているので、今後の SD 研究の方向性はむしろ高橋教授に語ってもらうのがベストであると思うが、筆者なりに考えていることを述べる。

先のような歴史的経緯を踏まえて、SD とは何か？という素朴な疑問に立ち返る必要があるように思われる。様々な SD の定義があるが、ここでは SD の代表的なテキストである M.グッドマンの『システム・ダイナミクス・ノート』[23]による「システム・ダイナミクスは、相互に作用し合ういくつものフィードバック・ループからなるシステムの構造と挙動について重点的に取り扱うものである。」という定義を考えてみる。SD で扱っているフィードバック・ループは PC での循環計算を避けるために逐次計算を行うことによって成り立っている。この点については、SD が成立した時点で言えば連立方程式や線形計画法による解法と大きく異なる点である。また、システムの構造と挙動を決定する方法については、定義式以外について SD では、統計的相関ではなく、因果関係に重点をおいている。このことは様々な ST/SD の解説書にも多く述べられているとおりである。また、因果関係については、東大教授 B.ウィルソン著『自分で考えてみる哲学』[24]において①目的論的因果関係から②物理的・機械論的因果関係、そして③相互関係的・システム論的因果関係の3つに分類して詳述されており、それ自体が研究課題として興味深い。筆者の理解では因果関係は人間のヒューリスティクスという単純化や省略の認知機能によっている。このことを統計的モデリングとシミュレーションの方法論的違いについて、N.ギルバート/K.G.トロイチュらは図2のように簡潔に区別している。[25] 本稿においても統計データがネット上で時系列に簡単に入手できるようになってきていることで、それらのデータベースを活用したモデリングを紹介しているが、統計的モデリングの限界や制約を理解して、SD との違いを誤解なく理解してもらうことも一つの目的である。本節では、統計的モデリングに近い SD とシミュレーションに近い SD の最近の試みを紹介する。

また、ギルバートらは社会科学におけるシミュレーションへのアプローチの変遷についても微分方程式の系統

の SD に対して、確率過程、ゲーム理論、セル・オートマトン、人工知能=マルチエージェントの系統が展開してきている様子を明らかにしている。このようなシミュレーションの変遷を踏まえて、SD とマルチエージェントを統合したモデルについての可能性を述べてみたい。本稿では、地域住民が参加した参加型の地域モデリングや ST についてあまり触れられていない。ST については、SD から発生した ST と一般システム論から発生したシステム思考 (例：ワインバーグ著『ワインバーグのシステム思考』) [26] についても違いを明らかにしながら、思考ツールとしての両者の可能性を広げていくことが必要であろう。

なお、SD と SD 以外のモデリングやシミュレーションの異同については、最近のシミュレータ・ソフトのなかには、ST/SD から線形計画法や統計的手法によるモデリング (重回帰分析) OR のための PERT や AHP などを試してみることができるものも出てきているので、これらのモデルの違いを体験的に理解してもらうことが可能になりつつある。SD ソフトによるマルチエージェントのシミュレーション (MAS) も一部のソフトでは可能となっており、MAS を取り入れた SD の論文は米国の SD 学会論文でも発表されつつある。

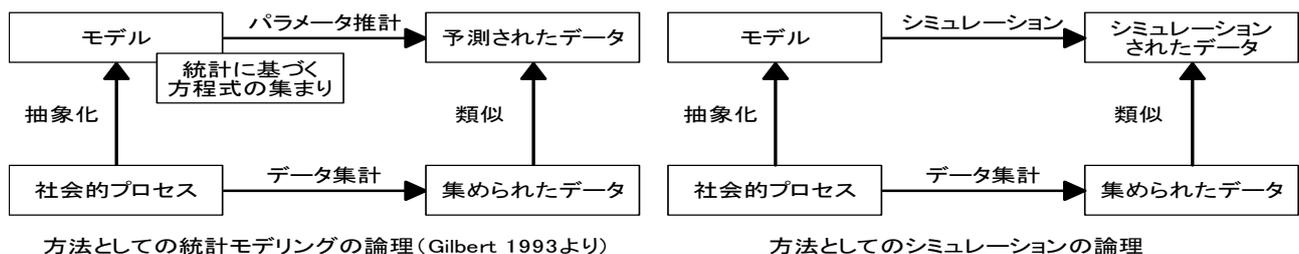


図2 方法としての統計モデリングとシミュレーションの論理の違い (N. ギルバート/C. G. トロイチュ、2003[25]から引用)

### 9.1. 統計的モデリングに近いSDの実験的試み

以上のような ST/SD を取り巻く様々な課題を念頭に、ここでは、島田先生のご指導を頂きながら島田先生らが 1981 年に DYNAMO で作成された首都圏モデル[27]をグラフィック機能の SD ソフト (Stella、PowerSim) で置き換えた作業をベースに、その後の地域 SD モデルの変遷と今後の方向性について述べてみたい。[21]、[22]

首都圏モデルのような地域モデルがパソコンと SD ソフトの普及によって、必ずしも SD の専門家ではなくてもモデル化が可能になったことにより、地域においても様々な課題を自治体職員や住民がグループでモデルを作成して解決していく参加型グループ・モデリングの試みも実施されてきている。このような地域での SD をより効果的にするために、ネット上の地域統計データベースを利用する方法や、作成した地域モデルのシミュレーション結果を全国と簡単に比較可能にすることが、今後の地域 SD モデルの普及の一要因になるものと考えられる。

筆者の一人は「もし私たちの地域が日本の平均並みならどうなるか?」という簡単な疑問をベースに、総務庁 DB 活用地域 SD モデルと全国参照 SD モデルについての試作を行っている。以下は、2007 年 11 月 24 日に京都で開催された JSD 地方研究会において発表した内容をもとに加筆・追加モデリングをしたものである。

市民・NGO・自治体等のワークショップ手法としての ST/SD に求められる条件は、①手軽さ：超・簡単なもの、②操作性：自分たちでも作れて、シミュレーションできるもの、③実用性：(専門家と協力して)実証性的モデルにできるもの、④共有性：その結果を参加者の間で共有できるもの、⑤説明力：一般の人々にも見て理解してもらえるもの、などがあげられる。

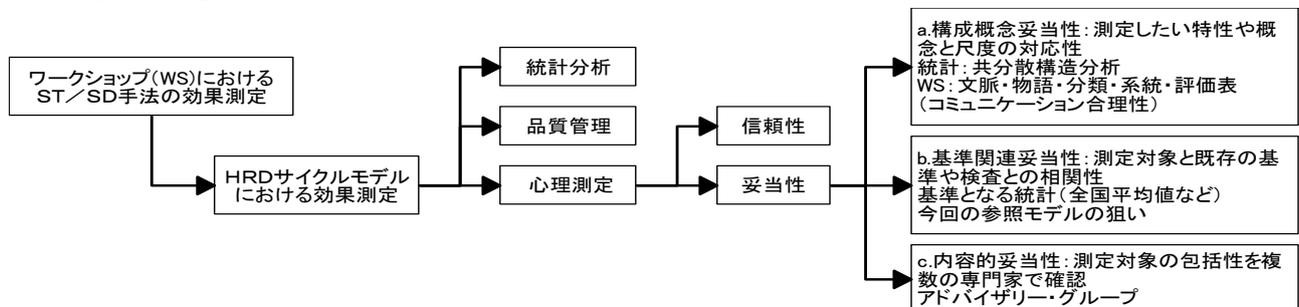


図3 参加型地域モデリングにおける効果測定と妥当性 (堤宇一編著『はじめての教育効果測定』 p.30[28]から作成)

このような条件の中で作成されるモデルが、モデルとしての妥当性を有するためには、図3のような構成概念妥当性や基準関連妥当性、内容的妥当性の要件を満たすことが求められる。[28] これらの妥当性をチェックするための基準となるようなモデル、いわゆる準拠モデルとか参照モデルとも呼ぶべきモデルであり、その可能性を検証した。

最初に、総務庁DB活用地域SDモデルを説明し、その後で全国参照SDモデルを説明する。紙面の制約上、モデルや方程式についてはHPから全てダウンロードできるので、図を省略している点をご了承下さい。

モデルの入手先は池田のHPで「地域モデル」というリンクを作成している。[29]、[30]（ここで紹介するモデルなどの詳細は[31]、[32]、[33]である。）地域統計データの入手先は、統計データ・ポータルサイト[34]の中にある総務庁の地域別統計データベース「地域別統計データ：コミュニティ・プロフィール Navi」[35]を活用する。利用可能なデータは、都道府県 基礎データ 約 710 項目 指標データ 約 620 項目、市区町村 基礎データ 約 100 項目 指標データ 約 40 項目である。この総務庁DBを活用する地域SDモデルの作成方法は、SimTaKN のデータ入力機能を用いている。[36]（モデルの作成手順は[37]、館林市を事例に作成した地域モデルモデルは[38]を参照）なお、統計データを利用してSDモデルのパラメータを推定する際に注意する点として、世界モデルの作成者の一人であるジョージン・ランダールの解説[3]によれば「システム・ダイナミクスでは、システムの構造を決定する情報を、パラメータの値よりも優先させる方法論である」ことが留意点としてあげられる。

このようにして地域モデルを既往統計データをもとに作成して、そのモデルが対全国比でどのような位置づけになるかを比較検討することは、地域の状態を当該地域だけで判断するのではなく、全国的な視野から地域を見直すことにもなるので、一つの参考となるものと考えられる。このような参考となるモデルを参照モデル（レファレンス・モデル）と呼ぶ。その作成方法はいろいろとあるが、ここでは「当該地域が全国並みであれば、どのような状態になるか」という視点から、日本全国の産業連関表と国民経済計算を利用したマクロモデルを作成した。産業連関表 1990-95-2000 の IO 表を産業大分類に集約して利用した。具体的には、マクロ経済モデル（ $Y=C+H+G+E-M$ ）を第一次産業から第三次産業までの中間投入を反映したモデルにした。モデルの骨格は、図4に示すとおりである。さらに、完成した参照モデルは図も大きすぎるため省略する。方程式の数は集約すればもっと少なくすることは可能であるが現状では754本であり、使用ソフトSimTaKNでの計算時間は約10分である。

参照モデルで地域との比較を行うために、参照モデルに取り込む地域モデルからのデータの数は操作性を考慮して、①人口と大分類別就業人口、昼夜間人口比という6項目（単年度）だけで推計する方法、②人口、産業大分類別の就業者数と従業者数の9項目（単年度）で推計する方法、③人口、産業大分類別の就業者数と従業者数の9項目（1990年～2015年の各年値で推計する方法とした。①の方法で東京都、埼玉県、高知県、神戸市、川崎市、館林市、板倉町の参照モデルを作成し、③の方法で地域統計データベースを活用した館林市のモデル例からの推計値を入れて参照モデルを作成し、それぞれのモデルの振る舞いを比較検討した。詳細な結果はHPを参照されたいが、「もし地域が全国並みの変化をするとすれば、こうなるのか」と思われるような結果が得られた。

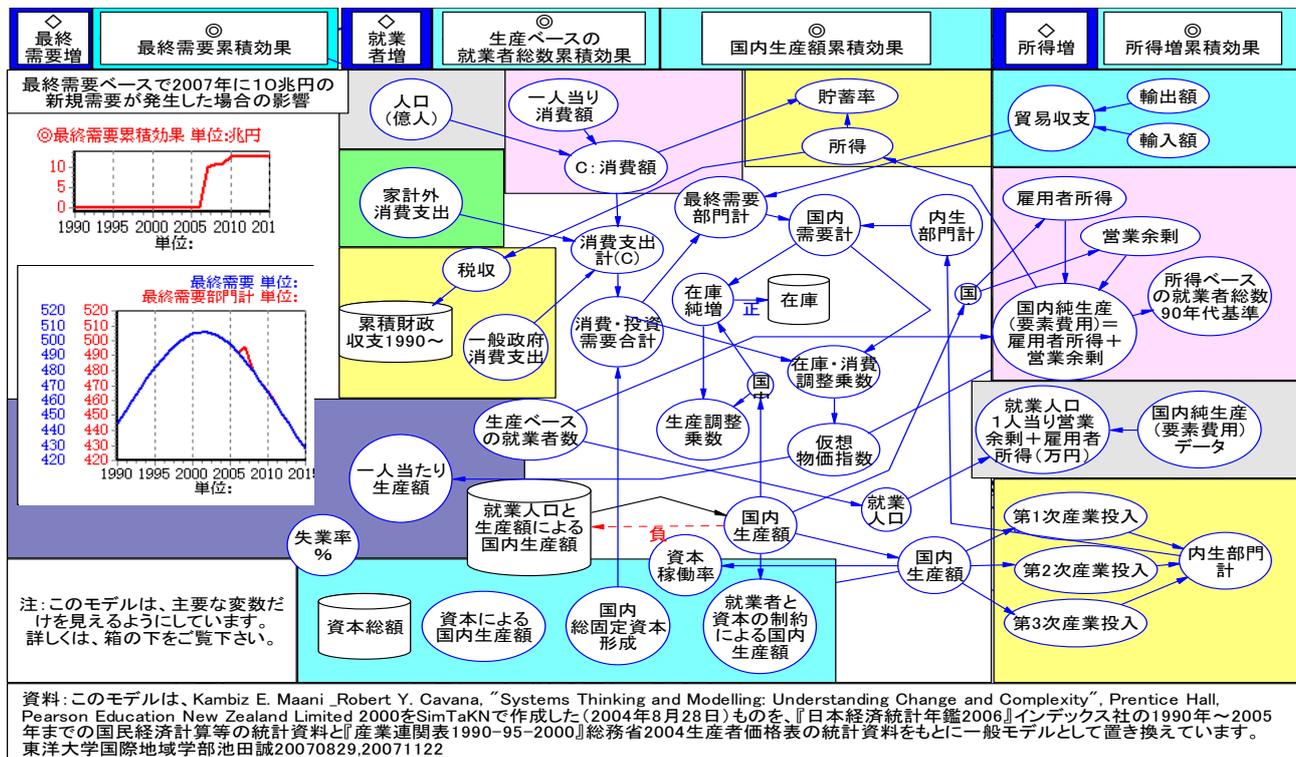


図4 参照モデルの基本構造（筆者作成）

## 9.2.シミュレーションに近いSDの実験的試み (SDとMAS (マルチエージェント)とAHP)

以上のような統計的モデリングをみてきたが、ここではシミュレーションに近いSDの実験的な試みを紹介する。以下のモデルは本学会誌に投稿中の論文で詳述しているモデルである。このモデルでは、筆者の一人が現地で具体的な事例として関わっている発展途上国におけるコミュニティの水道事業を事例として、ミクロな個人レベルの生活改善をマクロな地球規模の目標、例えば国連ミレニアム開発目標 (MDGs) で代表されるような指標を用いて、健康、飲料水、住環境、労働 (雇用・所得) の4項目について評価することを目標とした。また、このモデルでの評価の対象は、国家によるODA、企業による直接投資など地域活性化プロジェクト、地球市民によるNGOの活動の有無や総合的な実施を比較対象とした。そのため、国家ODA・企業・市民NGOの3つの活動による地域へのインパクトを4つの指標から総合的に評価するためにAHPの手法を導入した。AHP (Analytic Hierarchy Process) 法はあいまいな状況のもとで意思決定する場合の問題を扱う方法であり、主観的な判断を扱うアプローチである。[39] そして個人レベルの影響を評価するためにマルチエージェントのシミュレータ・ソフトを利用してモデルを作成することとした。[40]

筆者の一人は開発途上国援助を専門にしている、国連で採択されたミレニアム開発目標の達成のために働いている。ミレニアム開発目標にはマクロのターゲット値が定められていて、例えば、「2015年までに1日1ドル未満で生活する人口比率を半減させる。」、「2015年までに5歳未満児の死亡率を3分の2減少させる。」、「2015年までに、安全な飲料水と基礎的な衛生施設を継続的に利用できない人々の割合を半減する。」といったターゲットを達成すべく、もっぱら水道普及の分野で開発途上国支援を行っている。2番目に挙げた、「2015年までに5歳未満児の死亡率を3分の2減少させる。」というターゲットであるが、現在、開発途上国での5歳未満の乳幼児の死亡はほとんどが赤痢などの経口感染症の罹患による脱水症状が引き起こすものなので、3番目に挙げた、安全な飲料水の供給と基礎的な衛生施設の普及、衛生習慣の確立で赤痢などの経口感染症により死亡を大幅に減少させることでこのターゲットを達成できる。特に、安全な飲料水と基礎的な衛生施設の普及が望まれるのは、都市部のスラム街や農村などの地方部である。しかし、援助予算は絶対的に不足しているので、こういった対象地域に十分な支援を施すことができない。援助ははじめのちょっとしたきっかけをもたらすだけで、後はコミュニティの住民が、衛生が重要であるという意識を持ち、自助努力で必要な設備の維持管理、さらには拡張を行っていくことが必要である。従って、コミュニティが経済的にも精神的にも自立し発展していくことが不可欠となる。逆に、コミュニティが経済的にも精神的にも自立し発展していくことで、安全な飲料水の供給と基礎的な衛生施設の普及、衛生習慣の確立が行われ、赤痢などによる経口感染症が減少し、その結果として、マクロとしてのターゲットである、「2015年までに5歳未満児の死亡率を3分の2減少させる。」ことが実現する。援助によって水道施設や基本的な衛生施設をいくら提供しても、コミュニティの構成員が衛生の重要性を認識し、衛生に関する行動を改善することや提供された施設を適切に維持管理しなければ、経口感染症はなかなか撲滅できなく、乳幼児死亡率は大きくは減少しない。乳幼児死亡の減少という保健衛生分野のターゲットの達成にも地域経済の振興という観点は欠かせない。

筆者の場合、コミュニティ開発では、SDの地域モデルを使い、どのようなプログラムを実施し、どのように地域経済を活性化しながら水道施設の普及などを進めるのが効果的かつ効率的であるかを考えて援助を進めている。このような援助対象のコミュニティは、援助側とは別の被援助側の考えや戦略、価値観などを持っていて、援助側が水道施設整備を優先事項と考えていても、コミュニティ側は、それよりもマラリア撲滅や、電化、あるいはアクセス道路建設の方が優先課題と考えていて、援助側の水道支援の意向に沿わないことも発生する。さらには、もっとよくあるケースとして、コミュニティの構成員内でも、意見や意思が分かれる。このコミュニティ側の意思決定に影響する要素を、AHP: Analytic Hierarchy Process をSDモデルに組み込むことで簡潔にシミュレーションすることを試行している。AHPを活用した結果、コミュニティが地方水道支援プロジェクトを受け入れるか否か、そして、自立発展性を実現でき、コミュニティの5歳未満児の死亡率を3分の2以下に減少させることが可能か否かをシミュレーションによって確認することを意図した。このような途上国のローカルな水道事業による地域モデルを、地球規模の目標 (MDGs) で評価するための方法を次に説明することとする。なお、国連のミレニアム開発目標を用いる際に留意すべき点として、全ての地域開発プロジェクトや国際協力プログラム、全ての地域で、MDGsの目標体系の全項目が網羅的に追求・達成されるわけではない。個々の地域では、個々の地域ごとに、これらの目標群の一部が達成され、それらが総体として21世紀の人類社会をMDGsの目指す地球社会に変革していくものといえよう。これらのMDGsの目標の中から、今回の水道事業モデルに密接に関連していると思われる4つの指標 (病気、飲料水、居住環境、労働・所得) を指標としてモデル化することとした。

AHPモデルを用いて「水道事業とミレニアム開発目標MDGs」をシミュレーションしながら評価した様子を

想定したイメージは次のとおりである。

- ①スタート時：開発を国家が中心となって推進している時代：経済・産業・雇用の創出が最大の目標で、民生部門の飲料水の確保や居住環境改善、幼児の生残率向上などは目標としても低かった。殆どを国家が政策として実施し、雇用の創出のみ企業活動・市場経済がリードする状態であった。
- ②企業中心の時代：企業が国家の主要なアクターになる時代。経済発展が重視される。雇用と居住環境などの経済的な側面が重視される。
- ③市民活動重視の時代：民生部門のファクターが重視されてくる。
- ④総合評価：地球社会における国家の活動に対する評価が上がっているが、頭打ちになる。

企業の活動に対する評価は国家も凌ぐ傾向にあったが下落傾向にある。

市民活動は国家や企業の活動に対して急速に評価を上げており、逆転しそうな勢いである。このような様々なグローバル・ガバナンスに対する評価ができると良いという例である。

このような途上国における水道事業を人口、患者数、労働、経済、水道料金と事業収支、盗水と漏水の関係などをSDモデルとして作成したものをマルチエージェント・シミュレータソフト *artiso*c を用いて置きなおしたモデルが図 5 である。[41] このモデルでは5つのケースを同時にシミュレーションしている。ケース0は全てのプロジェクトがない場合のいわゆる現状ケース、ケース1は国家の ODA プロジェクトとして水道事業の一部を増強する事業がある場合、ケース2は企業の市場・投資プロジェクトで地域活性化事業がある場合、ケース3は市民の NGO プロジェクトでコミュニティ開発事業がある場合、ケース4は全てのプロジェクトがある場合の総合ケースとした。

この評価モデルでの最大の難関は、地域で投入される ODA プロジェクト、民間企業投資、NGO プロジェクトは単位がばらばらであり、同一の投入 (Input) に対する効果 (Output) としての比較はできないという点である。しかし、その地域が持っている国際的な協力の可能性やポテンシャルを反映していると仮定して、あえてそのまま比較した。地域によっては国際的に孤立しているとか、ODA の対象となりにくい国の貧困地域であるとか、企業の直接投資の対象とはなり難い地域、あるいは NGO の支援や関心が向けられていない地域などがある。それらは、そのまま、その当該地域の特性であり、そのような国際関係上の位置づけを無視して、逆に同じ ODA や企業投資、NGO の支援などを想定して金額や人員・プロジェクトなどを同一の条件でシミュレーションしても、そのことにどれだけの実質的な意味があるか不明である。本稿では白黒印刷のためグラフなどは判別不能であるが、HP[29]を参照されたい。なお、この *artiso*c によるモデルでは、全てのプロジェクトが同時並行的に実施されるケースも取り扱われているため、同時に5つのケースを実行しながら3つのケースについて比較している。

次のステップではマルチエージェントによるモデルの進化を進めていくことが今後の課題である。さらに、このモデルの発展系として貧困層と富裕層に分けて効果を見ていくことも次の課題としている。その段階で期待されることは、所得配分やスラムなどの居住環境による違い影響である。例えば、水道事業でも最貧層には水は高価すぎて届かないことや、その結果病気は最貧層で減少できないこと、企業の直接投資で生み出される雇用はフォーマルセクターで、貧困層の人々は教育や研修自体が困難なことなどからインフォーマルセクターの仕事しかありつけないこと、そのため ODA や企業の効果よりも NGO による自立支援型コミュニティ開発が有効であることなどをシミュレーションできるように改善することとしたい。



図 5:artisoによる水道事業のSDモデルとAHPモデルとの合体版の一部をマルチエージェント化したモデル (筆者作成)

## 10.まとめ

本稿では、日本における SD 研究の流れを地域モデルを中心に筆者らの限られた情報を基に整理するとともに、今後の新しい方向性についての現在の検討状況を説明した。その中で、SD を使ったミレニアム開発目標達成の考察として、個人、コミュニティ、地域（自治体）、国家の水道事業の影響とこれらを統合するモデルとしての SD・AHP・MAS 合体型モデルの可能性を示唆した。本来の研究の目的に即して、今後の課題となるのは、既に述べたようにマルチエージェントのモデル化を進めることで所得分布の違いが病気や盗水の可能性などを低所得層にもたらすことなどエージェントごとのインパクトの違いをモデルとして分析していくことである。また、SD との関係では、ST/SD が主として扱っている因果関係がマルチエージェントの単純なルールから創発される減少をマクロに見ているという複雑系に由来するマイクロマクロ関係の問題も今後の課題である。また、AHP のような評価モデルをエージェントに組み込み、モデルでの創発を検証することも課題である。こうした、AHP の利用やマルチ・エージェント・システムを組み込んだ SD モデルの実現により、マイクロ・マクロ・リンケージが可能となり、ミレニアム開発目標達成といったマクロの問題をシミュレーションできるようになることを願っている。

さらに、マルチ・エージェント・システムを組み込んだ SD モデルは、ここで例示している海外支援分野への適応だけではなく、歴史など多くの適用可能性があると考えられる。著者らは、以前、文明の興亡について SD モデル構築を試みた。この文明の興亡についても、MAS を組み込んだ SD モデルは有効ではないかと考えている。文明の興亡において、超国家は必ずしも征服、被征服の関係で成り立ったわけではなく、むしろ同盟や協力のようなもので初期段階が成立している。この同盟や協力関係で初期の超国家を成長させるようなある閾値を超えさせるしくみを SD モデルで表現する際に困難を感じた。複雑系で言う自己組織化であるが、この自己組織化を生成するメカニズムのようなものを、ゲーム理論などに基づき行動するエージェントを持つ MAS を SD に組み込むことでうまく表現できるのではないかと期待している。

SD は成立からすでに半世紀近く、さまざまな分野でモデル化に成功を収め、ある意味で確立したように感じられる人も多いが、まだまだ未適合分野も多く残されていて、研究すべきことは多いと感じている。日本における約 50 年の SD の歴史を振り返ってみて、筆者らが現在直面している課題も、学術的な方法論や人間の知としての SD の研究と実務応用的な SD の利活用という二つの面があり、この二つの側面は基礎と応用や理論と実務のように相互に密接に関連しているが一面では水と油のように相容れず切り離されているテーマでもある。このような SD が抱える 2 面性や多面性を故島田教授は人格的包容力で包摂しつつ SD 学会の基本的な方向性や SD の教育・研究・普及などに当たって来られていたように感じている。改めて島田名誉教授に謝意を表して本稿の結びとしたい。

## 注釈

- 1) SD は他の手法に対して排他的でもないし、ハイブリッドが許されないというわけではないが、基となる考え方が違う手法とのハイブリッドは、考え方の違いがコンフリクトを引き起こす可能性がある。SD の考え方と、SD と結合する相手の手法の基になっている考え方の違いが SD の精度などに限界や齟齬をもたらす可能性があることを初期の日本の SD 開拓者はあまり考慮しなかったように思われる。計量経済モデルなどが SD と異なることは十分理解していたと思われるが、それでも、あえてハイブリッドを試みている理由が十分説明されていない。
- 2) JSD 学会から見えていないという意味での「隠れユーザー」であり、利用者本人が意図的に「隠れ」ている訳ではない。
- 3) このモデルは、一般的な水道普及モデルではないので多少説明が必要であろう。このモデルの対象としている地域は開発途上国の貧困地域であり、水道料金が家計収入に比較して高い場合、水道料金未払いや盗水などが発生する。盗水が多いと、供給できる水の量が減少するので、ポンプで水を吸い上げるといった不法行為が多発し、ますます平均的に供給できる水の量が減少する。盗水はコミュニティのメンバーの意識や水道が供給している安全な水に対する重要性の認識にも係ってくる。もう一つの要素として、水道施設が適切に維持管理されなく、パイプの破損などが起きると、漏水が起き、やはり供給できる水の量が減少する。十分に安全な水を供給できないと経口感染症の多発を誘引するだけではなく、サービスの不満からも水道料金未払いや盗水が発生する。こうして、収入不足→維持管理不足という悪循環が発生する。盗水などを誘発するのは、もちろんコミュニティ・メンバーの水道の重要性に関する認識もあるが、地域経済の活性度にも関係してくる。地域が豊かであれば、一般家計収入に対する水道料金支払い負担が低く、盗水などの違反行為が摘発され罰金などを払うリスクの顕在化による被害額の方が大きいので盗水の割合や頻度は低下する。こうした水道事業経営の側面と地域経済の側面を考慮しないと、地域水道事業を普及させていけない。

## 参考文献

- [1] Jaw W. Forrester, "Industrial Dynamics", MIT Press, 1961、邦訳は、石田晴久、小林訳『インダストリアル・ダイナミクス』紀伊国屋出版、1972

- [2] Jay W. Forrester, "Urban Dynamics", MIT Press, 1969, 邦訳は小玉陽一訳『アーバン・ダイナミクス』日本経営出版、1970
- [3] 小玉陽一、『システム・ダイナミクス入門—複雑な社会システムに挑む科学—』、講談社、懇談者ブルーバックス B557、1984
- [4] Jay W. Forrester, "World Dynamics", MIT Press, 1971, 邦訳は小玉陽一訳『ワールド・ダイナミクス』日本経営出版、1972
- [5] Meadows, D, et al, "The Limit to Growth", 1972, 邦訳は大来佐武朗監訳、『成長の限界』、ダイヤモンド社、1972
- [6] 小野善邦、『わが志は千里に在り—評伝・大来佐武郎』、日本経済新聞社、2004
- [7] 財団法人日本科学技術連盟、「第3回システム・ダイナミクス・セミナー」テキスト、財団法人日本科学技術連盟、1973年
- [8] 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
- [9] 大沢光、「たばこの世界モデル」、たばこ総合研究センター、1974年3月
- [10] 大沢光、「シガレット市場の価格構成モデル」、たばこ総合研究センター、1974年3月
- [11] 大沢光、「喫煙人口動態モデル」たばこ総合研究センター、1975年3月 (TASC 研究報告 75OHB0801)
- [12] PPBS ケース・スタディ研究委員会、「自動車の都心乗り入れに関するシステム分析—PPBS ケース・スタディ」、運輸省、1974年
- [13] 阪神高速道路公団、財団法人システム科学研究所、「料金収入予測に関する調査報告書」、阪神高速道路公団、1976年3月
- [14] 財団法人流通経済研究所、「昭和46年度通産省業務委託：中小商業の効率化に関するシステム分析」、通産省、1972年3月
- [15] 財団法人政策科学研究所、「新産業の発展パターンに関する調査研究 CR-77-7」、財団法人政策科学研究所、1978年2月
- [16] 池田謙一、野城真理、「システム・ダイナミクスと医療システム」、医用電子と生体工学 Vol.14 No.2, April 1976、コロナ社
- [17] 開原成充、「日本の医療のマクロモデルの作成に関する理論的研究」、文部省科学研究費補助金一般研究(B)249005 研究成果報告書、東京大学医学部、1980年3月、開原成充、「医療のシミュレーションモデル」、総合臨床 Vol.26 No. 1, 1977、川村昇、開原成充、「シミュレーションモデルによる医療需要分析」、医用電子と生体工学 Vol.15 No.5, September 1977、コロナ社
- [18] 篠塚久雄、安達英之、古谷正樹、「システム・ダイナミクス法による大学モデルの構築と分析(1)—フロー・ダイアグラムと BASIC 方程式の設定」、工学院大学研究報告代 59 号、1985年10月
- [19] S. Kameyama, H. Kobayashi and T. Suetake, "Review and validation of early Japanese local government SD models", ISDC2000, Bergen, Proceeding, System Dynamics Society, 2000
- [20] 金子昇一、「コンピュータと経営科学の方法、21回～22回：システム・ダイナミクス①～②」、日刊工業新聞、1975年6～7月
- [21] 島田逸郎、池田誠、「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
- [22] 島田逸郎、池田誠、「システムダイナミクスの『首都圏モデル』検証第2報—PC用 STELLA モデル—」、明治大学『明治大学教養論集』通巻387号、2004
- [22b] Nathan B. Forrester, "THE LIFE CYCLE OF ECONOMIC DEVELOPMENT", Wright-Allen Press, Inc. 1973
- [23] M.グッドマン著、蒲生勲輝・山内昭・大江秀房訳『システム・ダイナミクス・ノート』マグルウヒル好学社、1981年
- [24] ブレندان・ウィルソン著『自分で考えてみる哲学』2004年、東京大学出版会
- [25] N・ギルバート/C・G・トロイチュ著、井庭崇、岩村拓哉、高部陽平訳『社会シミュレーションの技法』日本評論社、2003年
- [26] GM.ワインバーグ著、大野トシ郎監訳『ワインバーグのシステム思考』共立出版、1994年 (同シリーズにはシステム洞察法、行動法、変革法などがあり、一般システム論系ではあるが、おそらく現在最も注目されているシステム思考の著作集である。)
- [27] 島田俊郎・徳永勇雄・大滝厚・大久保哲夫著『首都圏システム・ダイナミクス・モデルの研究』明治大学科学技術研究所報告、総合研究第1号、1981年
- [28] 堤宇一編著『はじめての教育効果測定』日科技連、2007
- [29] 池田誠のHP：<http://www2.toyo.ac.jp/~mikeda/>
- [30] 同上の地域モデルのURL：<http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/Tiiki/index01.html>
- [31] 同上の報告書一括版：[http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/Tiiki/04B0203\\_Tiiki\\_Keizai\\_Model.doc](http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/Tiiki/04B0203_Tiiki_Keizai_Model.doc)
- [32] 池田誠著「参加型地域システム・モデリングの研究のその後」『東洋大学地域活性化研究所報 No.5』東洋大学地域活性化研究所、p.104～p.150、平成20年2月
- [33] モデル類を一括入手するURL：<http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/Tiiki.zip>
- [34] 統計データ・ポータルサイトのURL：<http://portal.stat.go.jp/>
- [35] 総務庁地域別統計データベースのURL：<http://portal.stat.go.jp/apstat/topProNavi.html>
- [36] データ入力用モデル：[http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/Tiiki/04B02070-Tiiki\\_Keizai-Model.flh](http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/Tiiki/04B02070-Tiiki_Keizai-Model.flh)
- [37] モデルの作成手順：[http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/Tiiki/04B0203\\_Tiiki\\_Keizai\\_Model-01.doc](http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/Tiiki/04B0203_Tiiki_Keizai_Model-01.doc)
- [38] モデルの例：[http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/04B02076-Tiiki\\_Keizai-Model-TatebayashiShi09.flh](http://ikedata.itakura.toyo.ac.jp/SimTaKN/04B/04B02076-Tiiki_Keizai-Model-TatebayashiShi09.flh)
- [39] 東千秋・柴山盛生・遠山紘司「問題解決の発想と表現」放送大学教育振興会、2005年2月
- [40] 山影進著『人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門』2007年1月、書籍工房早山