

システム・ダイナミクスの歴史¹⁾

1. フォレスターとシステム・ダイナミクスの歴史

システム・ダイナミクスは1950年代なかばにマサチューセッツ工科大学のジェイ・W・フォレスター教授により開発された。電気工学の博士課程を1939年に修了したフォレスターは、その年からMITに助手として勤務することになり、MITサーボメカニズム研究所の創設者であるゴードン・ブラウン教授の下で指導を受けながら研究生生活をスタートした。当時のサーボメカニズム研究所では、兵器のフィードバック管理メカニズムに関する先端的な研究が行われていて、この関係で、この研究所で働いていたフォレスターも、第2次大戦中、空母レキシントンに搭載された水圧コントロール式レーダーの修理のために、空母レキシントンに乗り込むといった仕事にも従事した。フォレスターが空母レキシントンに乗船している時に、空母は魚雷攻撃を受けたが、幸い沈没するまでには至らなかった。

2. WHIRLWIND I と SAGE

第2次大戦の終戦近くになると、フォレスターの関心は米国海軍のためにフライト・シミュレーターを開発するプロジェクトに向かっていった。さまざまなシミュレーターに関するアイデアはすでに出揃っていて、それらのテストも進んでいたが、デジタル・コンピュータを使ったシミュレーターについては、まだテストはなされていなかった。デジタル航空シミュレーターに関するブレイン・ストーミングを行った結果、最新の技術を応用した、コンピュータ化された戦闘情報システムを検討することになった。1947年、MITにデジタル・コンピュータ研究所が創設され、ジェイ・フォレスターがその責任者に任命された。この研究所での最初の仕事は、MITとして最初の汎用コンピュータ、WHIRLWIND Iの製作と戦闘情報システムの制御のために、デジタル・コンピュータが有効であるかどうかの環境テストを行うことであった。このWHIRLWIND Iのプロジェクトで、フォレスターは、偶然にも、現在コンピュータの磁気記憶装置として使われている、ランダム・アクセス・メモリーを発明し、特許を取得している。このフォレスターの発明した磁器記憶装置は、標準的なコンピュータ・メモリーとして、その後20年近く使われた。このWHIRLWIND Iプロジェクトで、フォレスターは機械をデジタル方式で制御する技術の開発に精力的に取り組んだ。

このWHIRLWIND Iプロジェクトの終了後、フォレスターは、MITリンカーン研究所での、SAGE(Semi-Automatic Ground Environment)北米防衛コンピュータ・システムの開発責任者になった。このコンピュータ・システムは、SAGAプロジェクトとして、フォレスターのチームにより1950年代後半に完成し、その後約25年間稼働し続けた。

3. システム・ダイナミクス

このWHIRLWIND Iプロジェクトで、フォレスターは企業経営の問題に関心を持つことになった。彼の管理者としての経験から、進捗上発生してくる問題の多くは、エンジニアリング側にその原因があるのではなく、管理者側にあるのだという結論を得ていた。そして、フォレスターは、その理由として、社会的なシステムは、物理的なシステムよりも理解しにくく、管理も難しいからだと考えていた。1956年、フォレスターは、新規に創設されたMITスローン経営

¹⁾ Arthur G Bedeian 編著、Management Laureates: A Collection of Autobiographical Essay”の中の”From the Ranch to System Dynamics: An Autobiography”に詳細なSDの創生から初期の発展の様子が記載されている。

大学院の教授に就任することになった。彼は、企業の成功や失敗の核となる問題に対して、彼の持つ科学技術のバックグラウンドを生かして、何か有効な方法を見出すことを志した。

フォレスターは、工学及び経営学の共通言語としてシステム・ダイナミクスを開発したが、その元になったのは、彼の1950年代半ばの、ゼネラル・エレクトリックス社の管理者への協力の経験だった。当時、そのゼネラル・エレクトリックス社の管理者は、ケンタッキーにある飛行機工場の労働者の雇用数に3年の周期が見られることに困惑していた。そして、この雇用の不安定さはすなわち、ビジネスの周期的な不安定さから来るのではないかと疑っていた。

雇用や解雇に関する企業の意思決定も含め、GEの工場の業務の流れをストックとフローの構造として表し、その流れを手計算でシミュレーションし、フォレスターは、GEの従業員の雇用の不安定さは、この企業のももとのビジネスの構造そのものにあり、経営環境といった外部要因に起因するものではないことを示した。この手計算によるシミュレーションが、システム・ダイナミクスの現場への適応のはじまりであった。

1960年代、フォレスターと彼の大学院の学生チームは、システム・ダイナミクスを急速に完成させていき、手計算によるシミュレーションからコンピュータによるモデルを基にシミュレーションができるようにした。1958年春には、リチャード・ベネットが、最初のシステム・ダイナミクス用コンピュータ言語であるSIMPLE(Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations)を完成させた。1959年には、フィリス・フォクス、アレクサンダー・ピューが、SIMPLEを大幅に改良し、その後30年以上に渡って標準言語の地位を保つことになる、DYNAMO(DYNAmic Models)の最初の版を完成させた。²⁾ フォレスターは、1961年、システム・ダイナミクス分野では古典ともいふべき最初の著書、インダストリー・ダイナミクスを出版した。³⁾

4.アーバン・ダイナミクス

1950年代後半から1960年代後半にかけて、システム・ダイナミクスは企業経営の問題に盛んに応用されていく。しかし、1968年、予期せぬ出来事から、システム・ダイナミクスは企業モデルという適応枠を超えて発展することになる。ボストン市の前市長であったジョン・コリンズがMITの都市問題の招聘教授に任命された。コリンズは1950年代に流行したポリオに感染していたので、自動車から直接エレベータにアクセスできる建物にオフィスを持つ必要があった。ジェイ・フォレスターは偶然にもそのような建物にオフィスを持っていて、しかもフォレスターの隣の部屋は空き部屋だった。こうして、コリンズはフォレスターの隣の部屋に引っ越してくることで、2人は隣人同士になった。2人は、都市問題やシステム・ダイナミクスがどのように都市問題に応用できるかを頻りに話し合うことになった。

フォレスターとコリンズの共同作業は、アーバン・ダイナミクスとして出版された。このアーバン・ダイナミクスによって初めて、システム・ダイナミクスは企業問題以外の問題

²⁾ エドワード・ロバーツ、グレース・ダンカン、デビット・J・ハワードも、いわばソフトウェア・パッケージとも言うべきこのDYNAMOの初期の開発に従事している。DYNAMOという名称は、フォックス夫人が考案した。

³⁾ 著書インダストリー・ダイナミクスの基になった最初のフォレスターの論文は、System Technology and Industrial Dynamics, 1957として発表されている。

に取り組むことになった。⁴⁾ この、アーバン・ダイナミクスで示されたモデルは、よく知られている都市政策は、どれも効果的ではなく、問題をさらに悪化させるものまでであることを示していたので、大きな論議を呼ぶことになった。さらに、モデルは、直感に反するような政策、一見正しくない政策と思えるものの中に、効果的に成果をもたらすものがあることをも示していた。例えば、低所得層向けの住宅を1ヶ所に集中して建設するという政策は、貧困地域を固定させ、都市の活性化を失わせるが、一方、低所得層向け住居を分散して建設するという政策は、新しい仕事を作り出し、都市全体として生活水準を向上させる効果があることが、このアーバン・ダイナミクス・モデルの中で示されている。

5. ワールド・ダイナミクス

企業モデルの枠を超えたシステム・ダイナミクスの適用は、直後に発生した地球問題に適用され、こちらの方が有名になった。1970年、ジェイ・フォレスターは、スイスのベルンで開催されたローマ・クラブの会議に招待された。ローマ・クラブは、「人類の窮境」と呼ばれる、将来発生するであろう地球規模の危機や、(再生可能資源、不可能な資源を問わず、汚染の改善も含め)地球の持つ能力と、人口増加による需要の関係を解決するため構築された組織であった。このベルンでのローマ・クラブの会議の席上で、フォレスターは、システム・ダイナミクスによって人類の窮境の様相を示す(シミュレーションする)ことができるかどうかを尋ねられた。フォレスターの回答は、もちろん可能であるというものであった。

ベルンから帰国の飛行機の中で、フォレスターは、最初のシステム・ダイナミクスによる世界規模の社会システム・モデルの原案を作り上げた。このモデルをフォレスターは、World 1と呼んだ。米国に戻ったフォレスターは、World 1モデルを改良し、MITを訪れたローマ・クラブのメンバーにモデルを見せた。この改良されたモデルを、フォレスターはWorld 2と呼んだ。フォレスターは、このWorld 2を、著書、「ワールド・ダイナミクス」の中で紹介している。

「ワールド・ダイナミクス」は最初から多くの注目を浴びた。World 2モデルでは、世界の人口、工業生産、汚染、資源、食料といった重要な要素の関係性が表わされていた。そして、このモデルは、地球の持つ能力以下に需要を引き下げる手段を取らない限り、世界の社会経済システムが、21世紀のどこかで破綻することを示していた。また、このモデルは、グローバル・システムを、高品質でかつ将来に渡って持続可能なものに変える政策が必要であり、そのような政策の抽出のために、このモデルが使えることを示していた。

有名になった「ワールド・ダイナミクス」の結果を見て、ローマ・クラブはシステム・ダイナミクスを使ってさらに人類の窮境に関する研究を拡大するための資金を提供することを申し出た。しかし、当時、フォレスターは、アーバン・ダイナミクス・プロジェクトに専念することをコミットしていたため、彼自身はこのプロジェクトに参加できなかった。しかし、彼の前で博士課程を終了した学生、デニス・メドーズをこの研究の責任者に推薦した。メドーズとその協力者によって完成されたモデルは、World 3と呼ばれ、モデルとその成果は「成長の限界」として出版された。World 3はWorld 2よりも複雑になっているが、基本的なシステムの振る舞いはWorld 2と変わらず、窮境に対する根本的なメッセージも変わっていない。きわめ

⁴⁾ 1960年代に、システム・ダイナミクスは、企業関係以外の問題への適用にも積極的に取り組むことになり、それまでの名称のインダストリアル・ダイナミクスから現在のシステム・ダイナミクスに名称変更を行った。

て内容的には似ているにも関わらず、「成長の限界」は「ワールド・ダイナミクス」よりも広く世界的な注目を浴びた。これは、著者の何人かも述べているように、「成長の限界」は、技術的なことに素人な読者にも分かり易く書かれているという、書き方にも影響されている。

1991年、「成長の限界」を執筆した著者のうちの3人が、出版20周年を記念して、内容を発展させることを企画した。その成果は「成長を超えて」という出版物となった。この研究のために、リバイスされたシステム・ダイナミクス・モデルはWorld 3-91と呼ばれている。この「限界を超えて」では、最初の研究ではできなかった棒大な数値データを揃えてはいるが、「成長の限界」に示された内容は、「ワールド・ダイナミクス」や「成長の限界」で示された内容と一貫性を持っている。また、この「成長の限界」で、初期に世界モデルを紹介した本に対する反論や批判に対しても、注意深く反証がなされている。

6. システム・ダイナミクス・ナショナル・モデルと初等・中等教育(K-12)

この20年間、ジェイ・フォレスターは主に2つの分野に関心を持ってきた。1つ目は、米国の経済モデルをシステム・ダイナミクスで作ること、2つ目は、システム・ダイナミクスの教育を（大学だけではなく）幼稚園から高校まで広げることである。前者のプロジェクトで、フォレスターは経済学に新しい境地を開拓し、マクロ経済のしくみに関する基本的な理解を得ようとした。後者のプロジェクトは、システム・ダイナミクスの健全な発展のためだけではなく、人間社会の健全な発展のためにも必要不可欠と考えていた。

フォレスターのナショナル・モデルの研究はまだ完成してはいないが、初期の目論見や途中経過に関する報告がいくつか出版されている。⁵⁾ この研究の中で注目すべき点として、1930年代に発見された、4年から6年の長期需要変動の波がモデルによって示されたばかりではなく、資本主義経済の性格として、大きな経済不況が発生することをも示した。フォレスターの論文によれば、現在の米国の経済は、最後の長期需要変動波の上昇期を終え、下降期に向かう所であるという。

フォレスターがシステム・ダイナミクスの教育を初等・中等教育にまで広げようとしたきっかけは、彼がMITでゴードン・ブラウン教授の下で研究生活を送っていた頃に遡る。ブラウン教授は1973年にMITを退職し、アリゾナ州タスコンに移り住んだ。1980年代、ブラウン教授は、タスコンの教育委員会の教師にシステム・ダイナミクスを紹介した。その結果、当初、ブラウン教授が教えた中学だけでなく、学校区全体にシステム・ダイナミクス教育が広がった。今日、システム・ダイナミクスを部分的に取り入れているものも含め、システム・ダイナミクス教育の教材は、シェクスピアから、経済、物理とさまざまな教科に広がっている。また、学校区教育委員会自身もシステム・ダイナミクスを使って、学習する組織に変貌している。

システム・ダイナミクスの初等・中等教育の未来は明るい。国際的な、初等・中等教育用の教材をまとめ、インターネットやウェブを使って広める活動を行っている組織もある。⁶⁾ 数多くの、米国のみならず海外の教師も、システム・ダイナミクスを使った授業を試みてい

⁵⁾ 例えば、Jay W. Forrester, 1980, "Information Source for Modeling the National Economy", Journal of the American Statistical Association 75(371): 555-574.

⁶⁾ 例えば、CLE: Creative Learning Exchange

て、彼らの試みは、国際会議の場でも紹介されている。⁷⁾ これらの試みが、企業だけではなく、公共セクターの将来に対する意思決定も、システム・ダイナミクスの目を通じて見ることでもうまくやっていくことができることを示唆している。

訳注：(Introduction to System Dynamics, Version 1.0, which adapted from Foundations of System Dynamics Modeling by Dr. Michael J. Radzicki より 1 章、入門の一部を翻訳したもの)

2002 年 10 月の SD 学会日本支部定例会において、中央大学の亀山先生から、ご自身の SD 国際学会参加の経緯も含め、SD の創設に関する思い出を紹介していただいた。

フォレスター自身による、SD 創設の話は、前年、2001 年 8 月に米国アトランタ市で開催された、SD 国際会議において、炉辺会談として語られ、子供時代のこと、フォレスターの指導教官であったゴードン教授のことや、将来の奥さんとなるスーザンさんを紹介されたこと、初期のコンピュータ開発に携わったことなどが語られた。炉辺会談の対話相手は、リチャードソンが勤め、スーザンさんとのデートで、将来の奥さんをほっぽって研究に打ち込んでしまったといったエピソードなどを補足していた。

米国では、このような SD の黎明期の情報もいろいろ紹介され、よく知られているが、日本においては、あまり知られていない。亀山先生のお話を聞きながら、こういった情報も知られていいのではないかと考え、たまたま発見した上記資料の一部を参考までに翻訳してみた。

⁷⁾ CLE では、SD そのものを教えるための教材と、科目別に、自然科学（物理、化学等）、国語（米国なので英語で、シェクスピアのハムレット等）、歴史、自主研究といった分野の教材がある。