

# 米国における初等・中等教育での ST/SD 教育の歴史・方向性と 日本における効果的な ST/SD 教育に関する考察

論文

## Study of effective ST/SD education for children in Japan based on the history and direction of K-12 ST/SD education in USA

池田 誠 (Ikeda, Makoto)  
東洋大学大学院国際地域学研究科  
ikeda@itakura.toyo.ac.jp

末武 透 (Suetake, Toru)  
日本未来研究センター  
ts178051@yahoo.co.jp

**Abstract :** Introduce ST/SD to elementary education of kindergarten to grade 12 in USA has long history and rich experiences for more than two decades thus developed rich training/education materials. This movement recently spread out to Europe including Germany. Though Japan has long history of SD training for more than three decades, however, not attempt to introduce ST/SD in elementary education yet. In this paper, we introduce elementary education using ST/SD knows as K-12 in USA including their history, vision, plan and destiny. Based on reviewing of their plan and current training materials as well as present ST/SD training in Japanese university, we consider adaptability of ST/SD in school education of Japan and point out several issues as well as recommendable structure and sample curriculum for effective learning.

キーワード : K-12、ST/SD 教育、CLE

**要旨 :** ST/SD 関係者には K-12 として知られている米国での初等・中等教育における SD/ST 教育について、その歴史や計画、目指している方向性などを紹介し、これをベースに、日本での ST/SD 教育における課題を指摘するとともに効率的な ST/SD 教育のための構造やカリキュラムについて考察してみた。米国では、ST/SD に関する初等・中等教育はすでに 20 年以上の歴史を持ち、すぐれた教育教材が多く開発されている。またその成果は、ドイツなど欧州でも取り入れられ始めている。日本も、SD 教育に関してはすでに 30 年以上の歴史を持つが、残念ながら ST/SD を初等・中等教育に取り入れることはまだ行われていない。そこで、米国での K-12 の歴史や方向性、教材などをレビューし、また、すでに大学で実施されている ST/SD 教育を参考にしつつ、日本において効果的に初等・中等教育で ST/SD を教育する方法やカリキュラム例などを提案した。

## 1. 米国における K-12 の歴史と方向性

### 1.1 K-12 の歴史

システム・ダイナミックス(SD: System Dynamics)は MIT のフォレスター(J. W. Forrester) によって 1960 年代から 1970 年代にかけて開発されたことは SD 関係者には広く知られた事実である。実は、初等・中等教育において SD を教えるという試みの歴史も古く、1980 年代からスタートしている。フォレスターの指導教官で上司でもあったゴードン・ブラウン(Gordon Brown)が、MIT を定年後、アリゾナのタクソン(Tucson, Arizona)で、SD を中学生に教える、あるいは教育委員会が抱えていた問題に SD を適用するという試みを行った(Radzicki 1997, [1], Brown 1992, [2])。米国の良き慣習とも言うべきであろうが、一流の学者が初等・中等教育に関わり、自分の専門分野を積極的に啓蒙するということが行われていて、フォレスターも積極的にこの試みを支援した。SD の第一人者が、ST/SD 関係者には K-12 として知られている米国での初等・中等教育における SD/ST 教育を積極的に支援するという慣習は、SD の創始者であるフォレスターの関与も含め今も継続して行われている(Forrester 1992,[3], Forrester 1995,[4], Forrester 1994,[5])。ちなみに K-12 は、幼稚園 (Kindergarten) から大学入学前の高校生 (12 学年) までの初等・中等教育という意味である。米国と日本では教育システムが違うが、日本の幼稚園での幼児教育、小学教育、中学教育、高校教育に相当すると考えていい。以下、特に断りがない場合を除き、文中で「K-12」としているのは、米国における、幼稚園から高校までの学校教育で、システム思考 (ST: Systems Thinking) 及び SD を取り入れた、あるいは活用した教育を指している。(注 1)

先に米国の教育の特徴とでも言うべきものを挙げておきたい。米国での初等・中等教育では、知識の暗記ではなく、論理的に考え自分なりの結論を導くということが重要視されている。このため、教育は基本的に、対象を観察する、あるいはデータや情報を収集する、そして観察で得られたデータや収集した情報を基に仮説を立て、

仮説を議論や実験で検証していくという授業方法が採択されている。米国での初等・中等教育における ST/SD 教育についても、この流れに沿った形で実施され、また開発されている教材に関しても、この流れに沿う形のもの公開されている。しかしながら、日本のこれまでの初等・中等教育は、なるべく多くの知識を記憶することに主眼が置かれていて、論理的に思考し結論を導くというやり方の教育にはほとんど重きが置かれていなかったように思える。「考え方の教育」では、米国と日本では全く正反対であったと言える。(注2)

ゴードン・ブラウン教授の試みからスタートした米国での初等・中等教育における ST/SD、教育では、まず高校教師を対象に SD に関するワークショップを開催し、SD に高校教師が関心を持ってもらうと共に、教師が SD を自分の担当する高校教育で使ってみることへの支援を行うことで普及させようとした。こうして SD を理解し、SD を自分の授業で使ってみて、SD を教えるための教材を開発する教師が増え、SD 教材の共有化や経験の共有を目的とする組織設立が望まれるようになった。このような ST/SD 普及組織として、一番有名なものは CLE: Creative Learning Exchange である。CLE では、開発された SD 教材をインターネットで公開し、また、ニュースレターで活動や成果を公開している。さらに、隔年毎に初等・中等教育における ST/SD 教育関係者が集まって国際会議が開催され、経験や知見などが公表されている。この国際会議の資料も同じくこの CLE のホームページに掲載されている。

最初は高校生を対象に実施され、また社会科学や自然科学が対象だったが、歴史や国語（米国なので英語）といったように適用される科目が広がっていった。また、高校生だけではなく、小学生や幼稚園児にまで対象が広がっている。

さらには、STELLA の開発者であるバリー・リッチモンドの貢献も大きい。リッチモンドは初等・中等教育における ST/SD 教育に関し 2 つの大きな貢献を行っていると言者は評価している。1 つは、システム思考を定義し、積極的に初等・中等教育に取り入れたことで、「システムの考える」ということを 7 つの考え方として整理した (Richmond 2000,[6])。それまでの SD 教育は、対象に関する仮説を打ち立て、モデルを構築し、構築したモデルでシミュレーションして仮説を検証するというやり方が中心だったが、そもそも「考える」ということは何か、「どうシステムの考えるか」を教えるという「システム思考」を教育に持ち込み、現在では、「考えること」に教育の重点を置くようになった。このリッチモンドの影響で、現在は、SD 教育ではなく、ST/SD 教育と呼ばれている。

リッチモンドの 2 番目の貢献はストーリー・テリングという手法で、SD シミュレーションを紙芝居的にシナリオ展開できるようにした。今でも STELLA の機能的強みであり特徴ともなっているこの機能を使って、シミュレーションをさまざまなシナリオに沿って展開して示すことで、生徒は、対象をより多面的に理解できるようになり、また教材が一方的に生徒に何かを教えるのではなく、生徒がインタラクティブに、いわば教材と双方向で対話をしながら学べるようになったと言者は評価している。

また、スポンサーから財務的な支援を得て教材開発やカリキュラム開発を行うのが米国流であるが、ST/SD 教育に関しても、ウォータ基金などが体系的な ST/SD 教育に関する K-12 用の教材開発に資金を提供し、その支援によりこれまでさまざまな教材が開発されている。この点に関し、次節でその概要を述べたい。

ST/SD が K-12 という形で米国において少しずつ普及していく中で、フォレストアーやリッチモンドなど ST/SD 専門家や教育関係が集まり、今後の ST/SD の初等・中等教育について考える集会在 2001 年 6 月に、米国マサチューセッツ州エセックスで行われ、エセックス・レポートと呼ばれる、長期計画がまとめられた。これは、米国のみならず、他の国においても、今後 ST/SD を初等・中等教育で実施していく上で大きな意味合いをもっているものと考えるので、それについて 1.3 でその概要を述べた。

第 2 章では、上記エセックス・レポートの流れも含め、日本で K-12 を教材内容のベースとした ST/SD の初等・中等教育での実施の上での課題や、初等・中等教育ではなく大学生教育や成人教育の分野ではあるが、東洋大学で筆者の一人である池田が実施している ST/SD 教育体系や目指す方向を紹介し、日本での現状を踏まえ、カリキュラム例などを提案した。

## 1.2 米国での K-12 の教材やその他の教育教材

米国で開発された初等・中等教育用の ST/SD 教材の主なものは、CLE を通じて公開されている。この CLE のホームページに公開された K-12 の教材は以下のように分類されている。

- ・英語 (国語)
- ・数学
- ・理科 (自然科学)
- ・社会 (社会科学)

- SD
- 学生の自主研究
- 横断的科目 (学際科目)
- Shape of Change (変化の形)

米国で使われている教材であるので、ここで言う「英語」は、日本の中学・高校での「英語」と同じではなく、むしろ日本での「国語」に相当し、シェクスピアの戯曲やメルビルの白鯨といった英米文学が取り上げられ、日本の大学での英米文学科の授業で教えられているようなことが教えられている。参考文献にシェクスピアのハムレットの教材(Hopkins 1992, [7])を挙げたが、この授業では、SD モデルを使うことで、主人公であるハムレットの行動を突き動かす内部の感情の高まりの様子を視覚化し、時間経過でその内部から突き動かされる感情との葛藤を理解することや、もし違った時代背景に主人公が置かれた場合、あるいはデンマークではなく米国の判断基準を当てはめたら、主人公のハムレットの行動や運命はどう変わったかといった想定を行い、人間の持つ普遍的な面や時代や環境によって変わってくる部分などをより深く理解することができるようになっている。このようなより深い考察が可能になることで国語教育に深みが増していると思われる。日本の大学での英米文学の授業でも、時代背景の中で主人公を理解し、そこから作者の意図を理解するといった授業や教育は行われているが、人間の持つ普遍的な面や時代的・環境的に変わる面なども含めた多面的な考察に関する教育に関しては大学の授業においてすら十分ではないように思える。この教材では、モデルを作るというよりも、ハムレットという人物を、SD モデルを使って、what if 分析手法で、多面的に考えてみることに焦点が置かれている。

社会科目の中では南北戦争など歴史に関する SD 教材が多いが、これも先に英語教材で述べたように、歴史を、もし要素が変わっていったらといった想定をしてみることで多面的に理解し、歴史から学ぶことができるようになっている。英語で取り上げた教材と同じような傾向のものを取り上げてもあまり参考にならないと考え、ここでは、歴史科目ではあるが理科に属する環境科目との横断科目的性格を持つ、イースター島の悲劇の教材(Fisher 1992, [8])を参考文献に挙げた。例え社会科(歴史)のテーマであっても自然科学的な視点を持ち込むことで、もっと多面的に歴史を見ることが出来る。さらには多面的に対象を見る上で重要なやり方である what if が設定しやすくなる。この教材は、SD モデルの基本形を教えるという点でも優れたモデルとなっている。この教材を製作したダイアナ・フィッシャーは高校の数学教師なので、設問を構築的に配置し、モデルを完成させると共に、完成したモデルを使って歴史を環境という観点から理解するという構造的な作りになっている。多面的考察という点では制約されてしまうが、日本での初等・中等教育における ST/SD 教育では、むしろこういった製作者の意図に向けてリードしていく構造的な教材の作り方のほうが、教師も慣れていて、マッチするよう思える。

最後の Shape of Change (変化の形) は、先のウォータ基金の財政支援を受けて、小学校低学年～中学年向けに開発された ST 教材で、システム的に考えるということをやさしく導入しようとしている(Quaden et al, 2004, [9])。この教材では、ゲーム的な要素もかなり取り入れられ、楽しく体験的に学べるように工夫されている点も日本での初等教育での ST 教育で参考になるのではないかと考えている。最初は線形的な変化と指数的な変化などの変化をグラフで認識することから入り、最期にはフィードバック・ループの認識と定性モデル構築ができるようになっている。さらには、新聞記事など日常の事象や問題を取り上げ、「システム的に考察」することを訓練するようになっている点が特徴である。この教材は、1.3 で述べるエセックス・レポートの考え方を踏まえ、ステップを踏んでシステム思考をマスターさせるように構築的に構成された教科書である点を指摘しておきたい。

幼稚園での教育を含む小学校低学年向けの ST/SD 教育では、子供に楽しく学ばせるということ、さらには子供に興味を持たせるということが重要となる。この点から、Dennis Meadows が共著になっている Systems Thinking Playbook は、この低学年の生徒向けの ST/SD に結びつくゲームを集めたものである(Sweeney and Meadows, 1995, [10])。ゲームは、そこから得られた体験や結果をいろんな教訓に結び付けていくことができ、授業展開の導入部をうまく進められるという便利さもあるが、そのことが間違った方向性を与えてしまう危険性もある。そういった危険性を理解の上で、楽しく学ばせるきっかけとして、ST/SD のゲームは非常に有効である。筆者は、国際ネットワークを持つ会計事務所に勤務し、米国で行われた経営コンサルティング部門の業務研修に参加した経験があるが、この Systems Thinking Playbook で紹介されているゲームがかなり活用されていたことが印象的だった。この経験から、筆者が日本で実施しているセミナーや新人研修などでも、緊張をほぐしたりするために、この Systems Thinking Playbook で紹介されたゲームを使っている。

なお、米国で始まった K-12 は、近年、オランダやドイツなど欧州の初等・中等教育でも取り入れられ始め、世界的に広まりつつある。ドイツも、かつては日本と似た、知識記憶型の教育が行われていたが、グローバリゼーションやドイツが EU の中心的な存在になったため、論理的思考ができる優れた国の担い手やドイツを代表し

て国際的に活躍できる人材を育成する必要が高まり、ST/SD 教育が考慮され、試験的に導入が始められている。

大学生や院生向けの SD 教材としては、Busyness Dynamics (Sterman 2000, [11])を始めとする多くの優れた教科書も出されているし、体系的、かつ広く活用されているという点では、何よりも MIT の Road Map (MIT 1997,[12])が有名である。しかしながら、こちらは、むしろモデルをどう作るか、どう検査するかといった話を中心となっている。大学生以上の成人はキャッチアップが早く、また主に実践に関心があるので、MIT の Road Map に代表されるような教材の構成になってしまうことは必然的ではあるのだが、成人むけの教育やトレーニングでも、初心者への教育やトレーニングであれば、最初の部分で、システム思考の紹介やちょっとした ST 教育は有効であると考えられる。MIT では、この導入としてピア・ゲームを用いていることが有名である。ピア・ゲームは SD 教育の導入用として良くできた教材で、何よりもいろいろな場面に対して応用が利く点が優れていることは認めるが、はたしてシステム思考が身に付くのかは疑問である。それよりもむしろ CLE のいくつかの教材に代表されるような教材を使い、システム思考を紹介し教育した方が有効であろう。

### 1.3 エセックス・レポート

2001 年 6 月に、米国マサチューセッツ州エセックスに、SD 関係者及び教育関係者が集まり、米国の K-12 における ST/SD 教育の未来について話し合い、マニフェストのようなものを作成した。これがエセックス・レポート (Richmond, et al, 2001 [13])であり、その後の SD 国際会議でも、このレポートに沿って、計画の進捗や状況変化などが議論されている。

このエセックス・レポートに盛り込まれている主な方針として、「1) システム・ダイナミクスを独立した科目として教えることの否定の否定」、「2) システム思考をベースにした行動を行う健全な市民の育成」、が大きな柱となっている点が注目される。

1)の、「システム・ダイナミクスを独立した科目として教えることの否定」は、SD は道具であり、先の英語(国語)、数学、理科、社会などの教科を、システム・ダイナミクス SD を使ってより深く理解させることの方が重要であり、また、そのことを通じて、システム的な考え方や能力がマスターできるという考え方からこの方針が出ている。さらには、学際的、あるいは科目をまたがる学習が重要視されている。参考資料として紹介したフィッシャーの「イースター島の人口モデル」がその 1 つの例であるが、歴史と、どちらかと言えば理科に属する環境科目の 2 つの科目が融合したような形態になっている。例え英語教材であっても、自然科学な見方、社会科学的な見方や知識を総合して理解することで、さらにはシステム的な枠組みで理解をまとめることでより深く理解できるという考え方が前提としてある。さらには、この深い理解から得られた洞察力は、現実の問題に直面した際に有効であるという信念がある。

2)の、「システム思考を身につけ、システム思考をベースにした行動を行う健全な市民の育成」は、SD を使った教育の最終目的及び達成成果でもある。システム思考を身につけた学生は、成長し、システム的な行動を取るようになる。これには、協力しながら忍耐強く現実の問題に立ち向かい、建設的に反対意見や批判を受け入れ、創造のためにリスクを進んで取るといった行動が含まれる。そのような、忍耐強く、リスクを恐れず、しかもコラボレーションを保ちながら困難な問題の解決にチャレンジし続けるという米国的な意味での理想の市民 (Systems Citizen)の育成がビジョンとして掲げられている。このような人材育成のために、学校だけではなく、地域社会も一体となって、学生を受け入れ、地域社会の現実の問題を解決することに学生を積極的に参画させ、先の理想的な市民を実践の場を通じても育成することが推奨されている。そういった意味では、このエセックス・レポートでは、狭い意味での学校教育の範疇を超え、社会全体で共同して健全かつ理想的な市民を育成することの重要性が訴えられている。この点ではルソー的な思想を引き継いでいるとも言える。

エセックス・レポートでは、このような理念の下に、以下のような計画で K-12 におけるシステム教育を担う人材の育成や教材開発などを 25 年計画で行おうとしている。

#### (1) K-12 での ST/SD 教育を担う人材 (実施者)、サポートする人材 (支援者) の養成 :

SD を使って教育を実施する教師、学校教育関係者 (管理者を含む)、SD 専門家など、K-12 での ST/SD 教育を担う人材 (実施者)、サポートする人材 (支援者) の養成を行う

#### (2) 研修プログラム及び研修教材の開発計画 :

サマー・ワークショップ (研究会的なものや研修会的なもの)。研修センターを設立し、研修センターを使ったサマー・ワークショップや夏季研修、教員養成を計画している。研修は研修センター主催によるものだけではなく、SD 専門家が出張ベースなどで実施する研修や、ST/SD 教育経験のある教師の仲間への研修なども含め頻繁に実施される。

また、サマー・ワークショップでは、教材開発も計画されている。

(3) カリキュラム及び教材開発：

統合的なカリキュラムや ST/SD 教育教材の開発が中心に置かれているが、教材では、単独的な教材（それを使って 1 つの教科を教えるもの）の開発だけではなく、学際的とでもいえるべき、複数教科に関連する教材の開発も重要視されている。また、古典的で汎用的で優れたモデル例の整備も重要視されている。

(4) 評価能力の向上：

成果の測定のための共通テストの開発、評価方法の開発なども計画されている。

(5) プロモート：

成果を広め、普及させる計画だが、普及用資料の作成などだけではなく、資金調達やモデルとなる市民の育成と参画などが計画されている。

(6) プロジェクト管理

## 2. 日本での ST/SD 教育の課題と ST/SD 教育事例

### 2.1 K-12 の教材を活用した初等教育における課題

かつての日本の教育では「詰め込み教育」という言葉に代表されるように、覚えるべき知識をリストアップし、それを記憶に詰め込むというような教育がなされていた。優良企業に就職するためには、有名校を卒業する必要があり、有名校に入学するためには厳しい受験戦争を勝ち抜かなければならず、ますます「詰め込み教育」を加熱させるという現象が起きていた。しかし、次第に「ゆとり教育」ということで、覚えるべき項目や内容を減らし、むしろ生徒の個性を伸ばすような学習方法に変わる傾向にある。少子化ともあいまって、1970 年代から 1990 年代まで続いたような激しい受験戦争を勝ち抜かなければならないという状況も緩和されている。記憶中心の教育から、もっと「考える」ことを中心とした教育に変わることができる状況に移行しつつある。(注 3)

SD はこれまで、「考えることを中心にした教育」という観点で優れたツールを提供し、また、米国での K-12 の教材には、この目的に合った、優れたものが多い。しかし、日本で SD を使い、「考えることを中心にした教育」を実践しようにも、適切な日本語で書かれた教材もあまりなく、教師に対するトレーニングもあまり行われていない。特に、初等教育では、ゲームを通じて楽しく興味を持たせ、その興味を持続させることが重要で、この技術やノウハウは、出版物だけで啓蒙することは難しい。K-12 の教材である *Shape of Change* (変化の形) や *Systems Thinking Playbook* などを参考に、日本向けの教材の開発と、デモを通じた初等教育を実践できる人材の育成が課題であると考えられる。特に、人材に関しては、コンピュータを使って SD モデルを開発し、シミュレーションする技術ではなく、システム思考で考え、またシステム思考で考えることを指導する人材が必要である。過去に、高校及び中学校の教師に対し、SD 紹介の意味での入門として、コンピュータを使って SD モデルを開発し、シミュレーションする技術の講習は日本でも実施されたことがあるが、システム思考で考え、またシステム思考で考えることを指導するという講習は、筆者が知る限り皆無である。

### 2.2 K-12 の教材を活用した中等教育における課題

日本では、初等教育用の教材が極度に不足していることに比べると、中等教育用の教材開発や人材育成は比較的容易であるように思える。フィッシャーが SD を使って数学を教えるための教科書を開発(Fisher 2001, [14])していて、最近では SD を教える教科書(Fisher 2005, [15])も公開している。さらには、CLE からも翻訳し、少し工夫すればそのまま日本でも活用できるトレーニング・マテリアルも公表されている。数学や自然科学ではこの傾向が強い。ただ、国語や社会科学では、米国で開発されている教材が英米文学や米国史を主に取り扱っているため、ただ翻訳しただけではテーマ的に生徒の関心に合わないであろう。これらの科目では、日本での教育科目に合わせた教材開発が必要となる。

人材に関しては教材整備ほどには簡単ではないであろうが、コンピュータを使って SD モデルを開発し、シミュレーションする技術の研修を通じて育成できる可能性が高い。システム思考で考え、またシステム思考で考えることを指導することができる人材育成という基本は変わらないが、教育対象である学生も、低学年に比べ十分な理解力や判断力を持っているので、ゲームなどで興味を持たせながら指導するというよりも、自主的に自己学習させられるスペースが多いので、後者のコンピュータを使って SD モデルを開発し、シミュレーションする技術の指導により専念できる。これに関しては、かつて日本でも高校及び中学校の教師を対象に SD 入門講習を行い、物理学でのばねと重力の関係のシミュレーション・モデルなどが紹介されたこともあり、十分可能である。

課題はむしろ、受験戦争のゆがみがまだ教師側に残り、広い視野で教育を実施するという雰囲気や環境がなく、受験に結びつかない SD 教育を入り込ませることが難しい。特に、国語や社会科学など非自然科学系の分野での SD 教育は、SD を取り入れると最終的には自然科学も含めた総合学習になってしまうが、教師自身が自然科学に

対するアレルギーのようなものをまだ持っていて難しいのではないかという危惧がある。

初等・中等教育から SD を浸透させていくことは効果が大きく効率的でもある。柔らかい頭脳を有する子供の方が、思考方法が固まってしまった大人に ST/SD を教えるよりもやりやすい面もある。しかし、これまで述べてきたように、日本の初等・中等教育では大学受験に結びつかない ST/SD 教育を正規科目に滑り込ませることが難しく、ゆとりの時間や課外授業などで実施せざるを得ないという制約がある。

筆者の経験では、実は米国でも過去には似たような状況であり、正規科目ではないものは教育で実施することが難しかった。さらには、正規科目であっても、予算不足と直接的な効果を疑問視され、その科目の授業が廃止あるいは授業時間が縮小されるということも発生した。例えば音楽の授業などが、直接的な効果を疑問視され、授業廃止が決まった学校区もあった。この状況を変えたのは、ST/SD に興味を持ち、ST/SD を教えられる教員を育成し、それらの教員が、自分の担当している正規科目である数学や物理、化学、英語、歴史などの授業に ST/SD を取り込んで授業を行い、生徒の学力を向上させたからである。日本でも、同じように、ST/SD に興味を持ち、ST/SD を教えられる教員を育成し、それらの教員に、自分の担当している正規科目である数学や物理、化学、国語、歴史などの授業に ST/SD 取り込んで授業を行ってもらうことがまずは最初のステップではないだろうか。

### 2.3 高等教育及び成人向け教育における課題

中央大学総合政策学部の小林秀徳教授、同志社大学ビジネス・スクールの山口薫教授、筆者など、日本の大学や大学院で SD を教育している教員は比較的多く、高等教育での ST/SD 教育はゼロではない。また、筆者及び株式会社ポーズの松本憲洋氏も社会人を対象に Powersim を使ったモデル研修会や企業研修などを実施している。

しかしながら、システム思考及びシステム・ダイナミクスによるモデリングという 2 つのニーズに直面し、絶対的な人材不足によりどちらのニーズにも対応できないというジレンマに陥っているように思われる。注釈 1 で少し触れたように、ST と SD は、共通している部分もあり、協調した利用により成果が高まるが、性格的に違うものと割り切って考えた方がよいと考えられる。定性モデルを使って分析する方法論が ST で、定量モデルを使って分析する方法論が SD であり、前者は後者の前段階の作業という解釈をしている人が多いが、この解釈は必ずしも正しくない。素直に、リッチモンドの定義によるシステム思考を受け入れ、システム・ダイナミクスとは違ったものと考え、システム思考専用にも成人向け教育を実施する方が効率的であり、そのような動きが日本でもできていくのではないかと考えている。システム・ダイナミクス側は、独自に定性・定量モデルを中心にした分析を従来の線に沿って最初から展開していてもいいし、システム思考での分析の中から厳密な分析の必要性が出てきた場合、順当な線として、システム・ダイナミクスが引き継ぐことが妥当であると考えている。

欧米の高等教育における ST/SD 教育は、基本的には ST と SD をあまり区分していないが、成人向け研修や教育では、目的や対象者の制約から両者はかなり明確に分けられている。すなわち、組織文化の改革などの組織改革関係や企業トップ向けなどでは ST が主体の研修が行われている。教育関係者への研修でも、厳密なモデルを作って厳密な定量分析を行うといったことまでは必要としない上級レベルの教育管理者や自然科学系ではない教師には、ST が啓蒙されている。一方、SD 研修は実務者向けや自然科学系の教員向けに実施されている。極端な言い方をすれば、対象の概要的把握のためには ST を、厳密な分析や計画策定のためには SD を使っているのが、対象に合わせて ST と SD を切り分けて教えている。

日本においても、成人向けには ST と SD を目的や対象者別に切り分けて啓蒙していくことが有効であり、そういった意味では、これまで SD の啓蒙は行われてきたが ST の啓蒙はあまり行われてこなかったのが、今後力を入れていく分野であると考えられる。

しかしながら、高等教育や実務者向け研修では、ST と SD に厳密な区別や制約を考えなく、従来の線に沿った教育を実施すればいいと考えている。開発されている教科書や教材もそのような構成になっているし、SD の実務的な知識や技術の習得には積み重ねが必要であり、実務者は実務実施に際し、ST で概要を理解することだけでは十分ではなく、SD を使いこなし、厳密な分析や計画策定のベースラインを割り出せることが重要である。

### 2.4 筆者による高等教育での取り組み

ここでは、本ペーパーの主目的ではないので、各大学で実施されているシステム・ダイナミクスの授業内容についての考察は行わないが、次章での提言の参考のために、ST/SD 教育の具体例として、東洋大学国際地域学部で筆者の一人である池田が行っている SD 教育の体系を紹介する。日本の初等・中等教育での SD 教育実施に際し、このような体系の整備をベースに教材を整備し、人材（教師）育成を考慮すべきであると考えられる。なお、これらの情報やモデルは筆者のゼミのホームページから入手できる。

#### (1) 大学生、大学院生向けカリキュラムの体系

筆者が実施している ST/SD 関連の授業の基本的な体系や構成は、マーニー、カバナ共著の Systems Thinking and

Modeling (Maani, K. and B. Cavana 2000, [16]) を核にしている。このマーニー、カバナの体系を核とし、さらに筆者が指導したワークショップや研修での、自治体職員や市民による参加型の地域レベルの問題解決の事例を応用例として配置している。マーニー、カバナの著書にも事例が多く掲載されているが、ニュージーランドなどの海外の事例であり、日本の事情にそぐわないものや、背景、環境や条件などが異なることから、そのまま用いるのは適切ではないので、事例は学生がより理解しやすいように日本のものを用いている。マーニーらの著書における ST/SD の内容については本稿では省略するが、筆者のゼミのホームページから入手できるので、そちらを参考にされたい。なお、カリキュラム作成段階では、ザラザらが作成した12日間の高校教員養成プログラム(Zaraza 1998, [17])も参考にしたが、ザラザのプログラムは、ST/SD そのものを教えることが主眼であり、筆者はむしろ、地域レベルの問題解決を行うための考え方や手法を ST/SD を使って教えることに主眼を置いている。目的が異なることから、独自のカリキュラムを作成した。

ソフトは中村州男氏が開発した ST/SD 入門ソフト SimTaKN (シムタクン) を使っている。(ベクターにてシェアウェアとして発売中。保存できないなど一部の機能の制約はあるが無料体験可能。) このソフトは、ST と SD を一体で取り扱える入門ソフトとして筆者が提案し、中村氏が開発したものであり、ST と SD の区別をあまり意識しなくとも良いという便利さがある。(注4)

大学・大学院では「自治体職員や市民による参加型の地域レベルの問題の解決」というテーマで、入門から応用までの6つのレベルに分けたコースで実施している。すなわち、①60分速習、②全体の俯瞰、③STの基礎、④SDの基礎、⑤SD応用1、⑥SD応用2の6つの区分で、これらの基本テキストは筆者のホームページで公開している。

- 1) **速習**：「①60分速習」は、ST/SDの入門編であり、SimTaKNに関する個人的な操作方法の説明依頼に対応して単独で用いたり、「③STの基礎」の中で最後にST/SDのツールとして紹介する際に利用したり、自主学習用教材として用いたりと多用している。このコースに関しては、入門編の講義として比較的高い評価が学生から示されている。
- 2) **全体の俯瞰**：「②全体の俯瞰」は、社会システム論入門(1年次選択専門科目)のほかに、国際地域学基礎コースF(情報)(2年次必修科目)として情報系全体を俯瞰する講義の中で4回分を筆者が担当している。この中でST/SDの位置づけや理論面の紹介をしている。
- 3) **ST/SDの基礎**：「③STの基礎」と「④SDの基礎」は、2005年度からのカリキュラムの中で次のような位置づけになっている。即ち、1年次必修科目である情報リテラシーの2つの科目(春・秋)を履修した後に2・3年次の選択必修科目と選択科目として位置づけられている。情報関連の専門科目として本学科全体では9科目あり、その中に、この2科目が含まれている。履修の順番は、原則として②、③、④の順であるが、自由な履修も可能にしている。
- 4) **SD応用**：「⑤SD応用1」「⑥SD応用2」は、ゼミ形式で実施し、2年次(春または秋)、3年次(春・秋)、4年次(春)、計4コマを開講している。

これらの中で①、③～⑥の5つは、PCの利用を前提とし、PC室において実習形式で講義を進めている。これらの5つのコースは、地域レベルの問題解決をST/SDを使って行うという実践面に主眼を置き、理論的な部分は概要レベルに押さえられている。そこで、理論面を紹介する科目として「②全体の俯瞰」で2つの科目が用意されている。ちなみに、講義時間及び講義回数に関しては、②～⑥までは、それぞれ1セメスター(90分講義、15回程度)として実施している。

地域レベルの問題解決では、同じカリキュラムの構造で、問題意識に対応してモデリングのレベルを変化させている。大学院では途上国からの研修生なども参加して具体的で真摯な課題を対象にST/SDの講義と演習を行っている。筆者が教えているST/SD授業では、「参加型の地域づくり」が基本テーマであり、既に前項で紹介されているように、エセックス・レポートの主な方針とされる「システム思考を身につけ、システム思考をベースにした行動を行う健全な(地球)市民の育成」という教育方針を共有している。

## (2) 社会人向けカリキュラムの体系

筆者は社会人を対象とする研修も実施している。同じく、地域レベルの問題をST/SDを使って解決する方法や考え方を教えるもので、自治体職員や市民を対象に、先の「③ST研修」、「④SDの基礎」、「⑤SD応用1」及び「⑥SD応用2」をベースに、「(A) ST研修」、「(B) SD基礎研修」、「(C) SD応用研修」の3つの研修コースを開発し、適時組み合わせ実施している。社会人用に説明を変えるというよりは情報リテラシーや地域課題や政策課題に依存して説明に工夫をしている。基本的な内容は同じである。

社会人対象の研修では、研修テーマが事前に明確化されている場合と、特に明確化されていない場合の2つのケースがある。研修テーマの設定が特に事前には決まっていなかった場合にはKJ法など問題解決手法の説明から

スタートしている。KJ 法は分類を基本とする整理法であり、因果関係を基本とする ST とは根本的に異なる。このことから、KJ 法を ST の前に使用することは手法面での連続性に欠けるといえる指摘もある。しかしながら、初対面の人々が共通課題を探るような研修の場面で、いきなり不慣れな ST を用いるよりも KJ 法の方が導入部の手法としては適していると考えている。この場合には「(A) ST 研修」から始める。また、研修テーマが事前に決まっていたり、研修開始前にグループに対して課題設定が行われている場合には、「(B) SD 基礎コース」から研修を始めている。

研修は、研修条件に合わせて 2 日間あるいは 3 日間で実施している。研修期間に余裕がある場合には、集中した研修方式ではなく、2~3 日間の集中研修の後、1 ヶ月~3 ヶ月程度の自主研究期間を設置し、その期間中にモデルリングを行い、発表会を開催するという方式を採用している。このグループごとの社会人の自主研究期間中に、筆者が実施している大学、大学院でのゼミ等とリンクし、大学生、大学院生との共同作業や共同発表会を実施するケースもある。こうして、学生は現場の現実の問題を知り、問題解決を体験するという機会を得ることができ、一方、社会人は、ゼロベースで考えた視点や洞察を学生から得ることができる。

以上が、SimTaKN を用いて実施している教育体系と研修体系であるが、その項目について以下、少し具体的な内容を説明することとする。

### (3) ST/SD に関連する教科の内容

前述の①~⑥の項目の内容は次のとおりである。

- ①**60 分速習**：SimTaKN の使用方法を 60 分程度で修得するコースで、ST/SD ツールである SimTaKN を使うことができるようになることを目的としている。
- ②**全体の俯瞰**：「社会システム論入門」として社会システムに関する理論や思想などを教えている。筆者が勤務する国際地域学部で教育項目として取り上げている、「地球規模で考え、地域レベルで行動するための全体的な視点」を教えるために、D.メドウズの「キャンディ・ゲーム (共有資源の管理モデル)」、世界モデルや参加型のグループ・モデリング例などの ST/SD モデルを使い、そのモデルでの作者の問題意識や、考え方を紹介している。
- ③**ST の基礎**：SimTaKN を使いながら、KJ 法や系統図など汎用的な問題発見や問題・課題の構造整理を行う手法や方法の習得から開始し、因果関係図 (CLD) や時系列変化図 (BOT) などの ST のツールやシステム原型を修得し、各自が抱えている課題に対して練習のために応用してもらうことを目的としている。このコースの最後の段階では SD を使った簡単なモデル作成も体験させ、参加者に SD への関心を持ってもらうように工夫している。なお、この教材では、事例として、筆者が実施した「四万十川流域圏における自然と人との共生社会実現」を使っている。(ここで使ったシステム原型、及び「四万十川流域圏における自然と人との共生社会実現」については SimTaKN での SD モデルと併せて筆者のホームページにて公開)
- ④**SD の基礎**：SimTaKN を使い、SD の基礎を修得してもらうことを目的としている。このコースは先の「②ST コース」の履修を必ずしも前提にしていない。先の「③ST の基礎」は、ST/SD を使って問題解決を行うということの概要的理解を目的としているのに対し、このコースは、むしろ、SD を使って結果の振る舞いに注目しながら問題解決を行うことを目的としている。従って、最初に課題を定量的な BOT として設定し、BOT をベースに SD モデルを構築する。構築したモデルをベースに、基本的な SD モデルの振舞い (ビヘイビア) を理解し、各自の課題に対して応用する。コースの最後の段階で ST/SD 全体を紹介し、関心を持ってもらうように工夫している。(この SimTaKN を使った SD モデルの基本的なビヘイビアについても筆者のホームページにて公開)
- ⑤**SD 応用 1**：内容やテキストは現時点ではまだプロトタイプ段階で、内容、項目の細部は確定していない。(このプロトタイプ・モデルは筆者のホームページにて公開。) SimTaKN のダイナミック・リプレイ・モードやアニメーション機能、HTML 自動作成機能を利用したシミュレーション結果の表現やエクセルのグラフ機能を用いた時点・時点の横断的表現など、プレゼンテーションを中心とした項目を修得し、各自の課題に応用してもらい、動的特性に注目して現象やソリューション結果を説明できることを目的としている。ここでも、授業の最後の段階で ST/SD 全体を紹介し、関心を持ってもらうように工夫している。
- ⑥**SD 応用 2**：各自の課題やグループに対して設定された課題を使い、ST/SD を使って具体的に問題を解いてみることを目的としている。筆者が勤務する大学のキャンパスがある板倉周辺地域の自治体や企業・団体・市民が抱えている問題や課題をテーマとして取り上げ、また、筆者が実施している自治体や企業・団体・市民等へのワークショップや研修への参加や連携をこのコースの一環として実施している。



市民起業家やNPO、自治体職員による参加型の地域づくりと問題解決			
区分	大学生向け (科目名)	大学院生向け (科目名)	社会人向け
①60分の速習	導入・まとめなど随時		
②全体の俯瞰	社会システム論入門 (1年次)	社会システム特論	
	基礎コースF(情報) (2年次)		
③STの基礎	情報モデリングB (2・3年次)		(A) ST研修
④SDの基礎	情報マネジメントB (2・3年次)		(B) SD基礎研修
⑤SD応用1	基礎ゼミ(2年次)	社会システム演習	(C) SD応用研修
⑥SD応用2	応用ゼミ(3年次)		

図1 現カリキュラムにおけるST/SD教育の概要

#### (4) ST/SD教育に対する受講生からの評価(ソフトの比較、学習意欲、効果等)

最後に、2005年春学期に実施した2つの授業(③STの基礎、④SDの基礎)に対する受講生からのアンケート方式の評価結果を紹介する。受講生はそれぞれ30人、23人であった。このアンケートは無記名で実施し、①プレゼンテーション用ソフトとしての評価、②計算ソフトとしての評価、③教育効果、④学習意欲などの4分野を10項目に分けて選択式で回答させ、その理由を記述する方法を採択し、最後の11項目目として自由にコメントを記載させている。

図2にその集計結果を示したが、ST/SD教育に対し好評であり、ST/SDの有効性を認めている受講生が多い。最後の11項目目の自由コメント欄に記載された主な内容では、受講生は「問題解決力と分析力は、講義だけでは十分とは言えない」と考えていて、「ゼミなどで実際に地域課題に応用することで身につくものと考えている」とする意見が目立った。特にグループに課題を与え、ST/SDを使って解決を探るといったゼミ形式での授業のやり方に高い評価が得られている一方で、「毎回課題が出されるので、友人には勧め難い」といった演習中心の授業に対する負担感を表明する意見もあった。ただ、全般的には「課題の実習は理解を深めるので堅持したい」と、ST/SDを使ったモデリング演習に対して好意的な評価を得られている。このアンケート結果からも、ST/SD教育は活用性が認められ、また、受講生の学習意欲を向上させる上でも有効であることが結論付けられる。

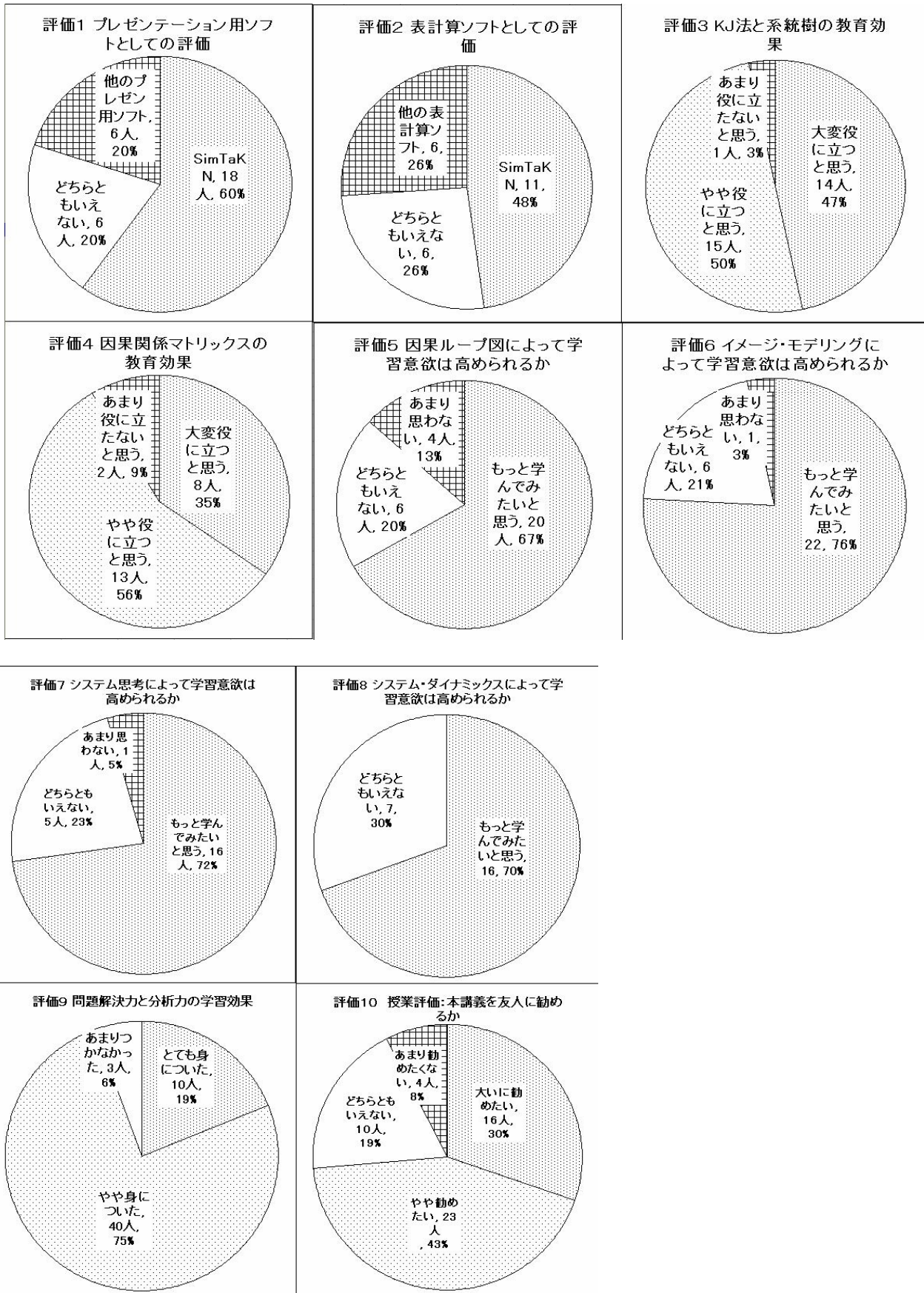


図2 受講生の評価

以上が、筆者が東洋大学国際地域学部で現在実施中の ST/SD の教育・研修プログラムであるが、筆者の教育・研修で中心的に使っているソフトである SimTaKN が開発されたのが 2003 年 9 月であり、今後更に教育研修用ソフトとして充実させていくためには、教材の充実、事例の充実、データベース化などまだまだ多くの課題を抱えている。しかし、わずか 3 年間で高知県・群馬県や館林市・板倉町・明和町・大泉町・邑楽町・千代田町を始め群馬県内の市町村などの多くの関係者に参加・協力してもらい、適応事例が充実してきた。

自治体職員研修で作成したものの中には、モデルを使ってシミュレーションした結果により政策を提言するだけでなく、実際に提言された政策を実験的に実施し、その実際の効果を測定中のものもある。さらには、学内ではオープン・リサーチ・センターである「国際環境共生研究センター」や「地域活性化研究所」での研究活動として ST/SD を使った地域レベルの問題の解決の研究を行うこともでき、これらの成果は、2006 年度からの学部・大学院のカリキュラムにも取り込むことができた。一方、ST/SD ツールである SimTaKN に関しても、2006 年 10 月には 3D や回帰分析、OR やゲーミング機能など飛躍的な機能アップが図られた Ver.2.11.2.4 が登場し、問題解決やプレゼンテーションという面でよりパワフルになっている。開発者の中村州男氏をはじめ多くの方々の協力の賜物である。

### 3. 日本での ST/SD の初等・中等教育に対する提言

米国での初等・中等教育における ST/SD 教育を紹介し、また、日本における高等教育での試みとして筆者の教育体系について紹介した。われわれの提案は、例えば筆者が行っているような、体系的な構造を確立し、それを基に教育や啓発を推進していくと共に、その実践活動の中で開発あるいはまとめたモデルや経験の事例化を追加し、体系を豊かにしていくというものである。このことは、特に目新しいものではなく、現在実施されている教育や研修、例えば、ポージーの松本憲洋氏の研修体系でも意識されているし、中央大学の小林秀徳教授の授業シラバスや著書（小林 2002, [18]）でも意識されている。これを拡張し、初等・中等教育でも体系を考慮しながら実施されることが望ましい。

高等教育ではあるが、先にも触れたように筆者の教育体系では、理論編は、マーニー、カバナ共著の *Systems Thinking and Modeling* の ST/SD 体系を核に置き、その上で、動的システム行動の基本モデルとシステム原型、そしてモデルのプロトタイプで、それぞれ基本的なモデルを紹介しながら、システムの振る舞いを解説し、モデルのプロトタイプを基に、モデルを発展させて SD が習得されることを意図している。そして、筆者が参加した多数のプロジェクトや研究などを事例として紹介し、これらの実践的な事例からも学べるようになっていく。ST/SD をどのような体系（カリキュラム）で教えるかという問題は試行錯誤の部分もあり、また高等教育や成人教育では特に、受講者にいろいろな目的があり単純ではないと思うが、理論を教え、システムの基本的振る舞い（とシステム原型）を次に教え、基本的かつ古典的でよくできたモデルを紹介し、ケース・スタディ、そして実際への応用というステップで ST/SD を学習させるのは理にかなった優れた方法と考える。

初等教育では、生徒に興味を持たせるため、ゲーム的な要素が多くなるといった差はあるにしろ、この基本的な考え方は、初等・中等教育でも同じと考える。筆者達が考えている ST/SD の教育体系の例として、以下のものを提言する。

- (1) **理論**：考え方の基本を教えるためのものである。高等教育では、マーニーや Sterman の *Busyness Dynamics* などの体系を踏まえた優れた教科書を使うことを推薦する。初等・中等教育では生徒ではなく、むしろ教師が熟知しておくべきものとなる。その上で、*Shape of Change*（変化の形）のような教科書、エッセックス・レポートで提案されているようなカリキュラムや CLE など公開されている優れた教材を使って、考え方を教育する。初等教育ではより ST 中心になり、その理論はリッチモンドの文献[6]が基本になる。
- (2) **動的システム行動の基本モデル**：これに拘るものではなく、また、3) と併せて教えても良い。システムの基本的な振る舞いを教える。ただ、高等教育や実務者向けには、ある程度の理論を学んだ上で、あるいは同時に並行的にモデリング技術習得も重要であり、ポージーの松本氏が実施しているように、関数や機能を中心に技術研修を行うというやり方もある。基本モデル、あるいはシステムの振る舞いの原型として、以下のものが挙げられる。初等・中等教育でも体験的にこれらの変化を生徒に学ばせることは有効である。例えば、*Shape of Change*（変化の形）では、小学生にすでに指数変化や S 字型変化を体験的に学習させていることから、ゲームなどを通じてこれらの変化を体験させることは十分可能である。
  - ・ 均衡
  - ・ S 字型変化
  - ・ 単純な増加（または減少）

- ・行き過ぎのS字型成長モデル
- ・指数変化（増加または減少）
- ・ランダム
- ・目標探査
- ・時間遅れ
- ・振動

(3) **システム原型**：これは動的システムの基本モデル編に組み込んでもいい。今までに以下の8つのシステム原型が知られている。初等教育ではあまり必要がないかも知れないが、中等教育で教えることは十分効果があると考えられる。**Shape of Change**（変化の形）では、中等教育で、生徒たちが目にした日常の問題をシステム思考により定性モデル（因果ループ）として描き、システムの振る舞いを分析するという授業が行われている。日常の問題を表現しようとする、表現された定性モデルでは、多くの因果ループが複雑に絡まる。複数の因果ループが関係するシステム全体の振る舞いの理解には、場合によりこれらのシステム原型を使うことが有効である。

- ・応急処置の失敗
- ・成長と投資不足
- ・問題の転嫁
- ・成功には成功を
- ・成長の限界
- ・エスカレート
- ・目標のなし崩し
- ・共有化の悲劇

(4) **モデルのプロトタイプと優れたモデル**：モデリングのベースに活用できるような優れたモデル例を紹介する。

- ・人口モデル（単純なものではフィッシャーの「イースター島の悲劇モデル」などがある）
- ・捕食モデル
- ・普及モデル（あるいは感染症モデル）
- ・開発モデル（フォレスターの **Urban Dynamics** などがある）
- ・世界モデル（フォレスターの **World 3** などがある）

初等・中等教育での優れた **ST/SD** モデルはすでに **CLE** などでもかなり公開されている。数学や理科などの科目に関しては、**CLE** などでも公開されているモデルを日本語化することでそのまま使える。しかし、社会や国語に関しては独自に開発する必要がある。モデリングのベースにするという考え方自体はいいのだが、注意しなければならないのは、初等・中等教育では、モデルで表された考え方を学ぶという点を強調すべきで、考え方、物の見方、表現方法として採択されたテクニックなどの基本的な部分の理解をおおざなりにし、これが手本であるので真似をしるという教育のやり方を絶対にするべきではない。この点をおおざなりにすると、単なる真似や、この種類の問題にはこのモデルを適用すればいいといった、思い込み、短絡思考、そして単なる **ST/SD** の問題への適用の習得に終始してしまう危険性がある。極端な言い方をすれば、**ST/SD** モデルは記述言語のようなもので、そのモデルを開発した作者の、対象に対する一つの解釈を示しているにすぎない。フィッシャーの「イースター島の悲劇モデル」を優れたモデルでありプロトタイプであるものの例として紹介したのは、この教材が環境モデルの基本形であり、ステップを踏みながら、環境に関する考察を生徒にさせ、考察が深まることでモデルが進化するようになっている点で、優れたモデルを紹介する際には、対象としている分野の基本形であるものを吟味し、ステップを踏みながら生徒に考察させ、モデルを進化させることができるものである必要がある。

(5) **事例**：事例を使い具体例を学ぶ。これも、実際の事例を取り上げ、チャレンジさせてみて、その後、実際に開発された **ST/SD** モデルや考え方、解釈などを紹介し、生徒の考えとの違い、見逃していた点などの発見をさせる上で有効である。ただ、先に4)でも指摘したが、生徒は、これが手本であり、これを真似て似たような問題に応用すればいいといった短絡思考に陥らないように気を配る必要がある。十分に、問題を取り巻く背景や状況を理解させ、その上で、どうモデル構築者が対象を理解し、どう解釈し（重要視した部分、重要視しなかった部分、仮説として設定した部分など）、従って、どう表現したのかの理解に十分時間を割くべきである。リッチモンドは生前中に、精力的に、ストーリー・テラーというシナリオ展開の手法を使い、学校における銃の問題やテロの問題など時々の事件や話題を取り上げ、対象をどう捉え、どうモデル化するかをうまく示して

みせた(注5)。初等・中等教育向けには、彼の紹介したモデルや、モデルを使う前にいろいろ考えさせるという彼のやり方が優れた事例であると考え。考えさせるという部分では、単独ではなくグループで議論させながら学習させる方法も有効である。生徒は、議論の中から多面的な考え方を学ぶことができる。また、K-12に関して、多くの授業の事例が CLE から公表されていて、授業の進め方の事例として参考になる。

- (6) **適用**：実際の問題に適用してみる。K-12 では、実際の地域の問題や生徒の日常生活で目撃する問題を取り上げ、適用することを薦めている。例えば、新聞記事や雑誌の記事を取り上げ適用する。あるいは学校における問題を取り上げ、今まで学んだ ST/SD を適用し、問題を分析し、ソリューションを提案させるといったことを実施している。実際にやってみると、生徒は、取り上げた新聞記事や雑誌の記事に書かれていることだけでは情報が不十分であることを発見し、モデルを構築する上で必要な情報収集を、インターネットや他の書籍で調べる、あるいは関係者にヒアリングするといった必要が発生し、その調査のやり方自体も生徒が体験的に学習すべき事項となる。また、生徒の行った分析や提案などで優れたものは新聞に取り上げられ広く市民に知らしめるなど、米国では、地域社会や学校、他の教員などが、生徒のこの活動(情報収集、分析、プレゼンテーションなど)を積極的に支援している。日本で実施する際にも、こうした地域社会や関係者の生徒の学習活動に対する支援体制や支援環境の構築を考える必要がある。

これらを微力ながら自らも整備しつつ、ST/SD の教育・啓発に応用・実践し、評価していくことを通じて、より一層の ST/SD による教育・研究・実践活動の広がりや資することを今後の課題として、本稿の結びとしたい。

## 注釈

- 1) 本稿では、システム思考(ST)は、リッチモンド[参考文献19]の定義による7つの、主に定性分析を主眼とする、観察対象をシステムと捉え、それをモデル化し、モデルを使って理解する考え方や方法と定義する。リッチモンドは、システム思考を、「動的なものとして対象を理解し」、「因果関係やフィードバックを含むシステムとして対象を理解し」、「全体のメカニズムを鳥瞰し」、「対象をシステム構造が生み出す現象として理解し」、これらの理解を基に分析するという、「システムの考え方のための方法論」と定義している。また、ここでは、システム・ダイナミクス(SD)は主に定量分析を主眼とする、対象をモデル化し、シミュレーション分析により洞察を得る方法論と定義する。対象をシステムとしてとらえ、モデル化し、分析するというアプローチは両者で共通している。また、STは「システム思考」全般を意味するが、「システム思考」とわざわざ断った記述になっている場合は、STの「システムの考え方」の部分を強調して使っている。単に「ST」と記述した場合は、システムの考え方だけでなく、方法やツールなど全般を含むとしている。ただし、強調する場合や繰り返しを避けるために、あえて「システム思考」、「システム・ダイナミクス」という表現方法を用いている部分もある。
- 2) 板倉聖宣らの仮説実験授業が日本は1960年代から提唱された。これは、複数の対立する仮説に対し生徒同士でディベートを戦わせ、その議論を通じて対象を理解し、最後に実験で確かめ、それぞれの議論での正しい部分、間違っていた部分を確認するという授業方法だが、関係者では評価が高いものの、授業に時間がかかること、1980年代後半までは、受験戦争に代表される進学教育の重視、文部省の定めたカリキュラムが厳格すぎて仮説授業に対して十分時間を配分することが難しかった点などから筆者の印象ではあまり普及してこなかったように思う。
- 3) 日本は後進国であり、先進国になることが国民の夢であり、理想であり、先進国である欧米諸国というモデル(手本)があり、それと同等のシステムを構築できる(追いつくことができる)人材の育成が教育の主眼であるといった時代であれば、なるべく多くの知識を記憶し、豊富な知識の中から状況にうまく適応するものを選ぶという方法を習得させることが教育の主眼であったことは理解できる。しかし、日本は先進国になり、手本とするものがなくなった。追いつけ、追い越せではなく、世界に通用する新しいことを考えることや、国際的に通用する論理的な考え方で物事を進めることができる人材の育成が求められていると考えられる。文部科学省は、このような人材育成を、カリキュラムに沿って知識の詰め込みを行うことではなく、むしろカリキュラムにはゆとりを持たせ、学習者が詰め込みによる焦燥感を感じないよう、自身の多様な能力を伸張させることを目指す教育理念として達成しようとしている。なお、筆者のある国際的な経営コンサルティング会社でのコンサルティング経験でも、記憶している知識を応用し問題を解決することよりもむしろ論理的に考えて結論を出すことが求められた。論理的に考えて結論を出すやり方をロジカル・シンキングという言い方をするが、論理的な思考ができる人材が国際的には求められていると感じた。また、筆者は、現在は途上国支援を専門としているが、この途上国支援業務を実施する際には、途上国の関係者だけではなく、さまざまな国際援助機関や他国の援助機関の関係者とも交渉や説明、議論を行わなければならない。日本は、国際援助機関に多くの財務支援を行っているが、国際援助機関で活躍している日本人は極めて少ない。日本人スタッフが少ない原因として、外国語による業務という英語を母国語としない人間に対する言語のハンディや給与がドルベースなのであまり高くないといった財務的な魅力度もあるが、一番大きな原因は、論理的に思考し、論理で議論するという能力の不足であり、「考える」ということのできる能力の不足であるように思える。この能力なしでは、いくら語学に秀でていても、関係者と議論し相互理解させるということができなく、国際援助機関では十分活躍で

きない。筆者が経験した日本の初等・中等教育ではあまりにもこの分野の訓練が欠落していたと感じている。筆者はまた、日本企業に対しても経営コンサルティングを実施した経験があるが、筆者が見た多くの日本人中堅管理者は、実務経験を通じての知っている知識を応用して解決できるような問題に対しては極めて優秀に対応できるが、自分が体験していないことや自分には未知の事項に対しては、「論理的」な議論から結論を導き出すという作業を避ける傾向が見られた。このような人材の長所や短所が育成されたことにはいろいろ他にも原因があることは十分承知しているが、日本の初等・中等教育に先の欠陥があることにも一因があると考えている。こういった筆者の体験からも、日本の初等・中等教育は少し変える必要があり、また国際的に活躍できる人材育成が望まれていて、それには初等・中等教育において ST/SD を取り入れた教育を実施することが有効であり、また、全く受け入れられないという環境ではなくなったと感じている。

- 4) ST と SD を全く別のものと捉えることは、SD 学会のホームページでも明記されているが、SimTaKN を使った筆者の授業では、ST と SD を全く別のものとして位置づけることは行っていない。地域レベルの問題の解決ということを主目的とした場合、思考支援ツールとして一つのソフトで KJ 法から ST/SD までを扱えることの便利さが優先される。従って、ST と SD の違いを方法論の面で強調するよりも、実務面に重きを置き、連続的・一体的に作業できるソフトであることが重要となる。従って、ST での分析(CDL: Causal Diagram Loop)が、そのままの形を保ったまま SD として表現でき、定量的シミュレーションができることが重要視される。しかし、従来の SD 専用ソフトでは、フローとストックを厳密に区別し、その関係も正の流れとしてフローがストックに流入するように（あるいは流出するように）図化する必要があった。これに対し SimTaKN では、因果関係として表現している。つまり、ストックからのアウトフローを、SimTaKN ではストックへの「負/マイナス」の矢印として表現し、ST での因果ループの正負の判別と SD のモデルが整合するようにしている。この変更によって、CDL とストック・フロー図が比較的近い関係で示せるようになり、ST の定性モデルからそのまま SD の定量モデルに、同じ形を保ったまま移行できる。このようなさまざまな工夫で、SimTaKN では ST と SD を一体化して取り扱えるようにしている。
- 5) リッチモンドは生前中に、High Performance Systems 社のニュースレターに、「今月の話題」として、時事問題を取り上げ、どう問題を捉えるのか、どう考えるのかを示す、シミュレーション可能なモデルを紹介し続けた。このニュースレターと「今月の話題」のコラムは、K-12 関係者にとても好評であった。HPS 社は彼の死後、isee systems と名称変更され、ニュースレターも The connector という名称でしばらく継続され、「今月の話題」のコラムでは時事問題のモデルの紹介も継続されたが、残念ながら 2007 年 3 月 31 日の時点では発刊が中断されている。

## 参考文献

- [1] Radzicki, Michael J., "Introduction to System Dynamics Version 1.0", US Department of Energy, 1997
- [2] Brown, Gordon S., "Improving Education in Public Schools: Innovative Teachers to the Rescue", System Dynamics Review Vol. 8 No.1, 1992
- [3] Forrester Jay W., "System Dynamics and Learner-Centered Learning in Kindergarten through 12th Grade Education", MIT, D Paper series, D-4337, 1992
- [4] Forrester Jay W., "Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century", MIT D paper series D-4434, 1994
- [5] Forrester Jay W., "System Dynamics and K-12 Teachers", MIT, D paper series D-4665-1, 1997
- [6] Richmond, Barry. "The 'Thinking' in Systems Thinking: Seven Essential Skills", Pegasus, 2000
- [7] Hopkins, P. L. "Simulating Hamlet in the Classroom", System Dynamics Review V8 N1, Winter 1992
- [8] Fisher, Dianna M., "Easter Island Population Model", CLE, 1992
- [9] Quaden, Rob and Alan Ticotsky, "Shape of Change", Creative Learning Exchange, 2004
- [10] Sweeney, Linda B. and Denis Meadows, "The Systems Thinking Playbook", Sustainability Institutes, 1995
- [11] Sterman, John D., "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World", Irwin/McGraw Hill, 2000
- [12] MIT, "Road Maps: A Guide to Learning System Dynamics", MIT Sloan School of Management, 1997
- [13] Richmond, Barry et al, "The Future of System Dynamics and Learning-Centered Learning in K-12 Education", CLE, 2001
- [14] Fisher, Dianna M., "Lessons in Mathematics: A Dynamic Approach with applications across the sciences, Teacher's Guide", 2001, isee systems, ISBN 0-9753169-1-5
- [15] Fisher, Dianna M., "Modeling Dynamic System: Lessons for a First Course, Teacher's and Trainer's Guide", 2005, isee systems, ISBN 0-9753169-2-3
- [16] Maani, K. and B. Cavana, "Systems Thinking and Modeling: Understanding Changes and Complexity", Prentice-Hall. 2000
- [17] Zaraza, Ron, "The CC-STADUS 12-Days Training Materials, A Comprehensive Workshop Designed to Prepare for Use in their Classrooms", CC-STADUS/CC-SUSTAIN INSTITUTE, 1998
- [18] 小林秀徳：「政策研究の動学的展開」、白桃書房、2002
- [19] Richmond, Barry, "Systems Thinking: Critical Thinking Skills for the 1990's and Beyond", System Dynamics Review Vol. 9 No.2, 1993

- [20] Hight, Jim, “*System Dynamics for Kids*”, Association of Alumni and Alumnae of MIT, Vol. 98 No. 2, MIT, 1995
- [21] Ikeda M., K. Nakamura and T. Suetake, “New Tool for Improving Planning Capability of Local Government Staff”, ISDC2004 Proceeding, 2004, International Society of System Dynamics, July 10 2004
- [22] Ikeda M., T. Suetake, “*Policy Evaluation using SD Group Modeling*”, ISDC2005 Proceeding, 2005, International Society of System Dynamics, July 2005
- [23] 池田誠：「四万十川流域圏の環境共生社会システム」  
①第1章 SimTaKN 60分速習コース  
②第2章 KJ法とシステム思考 (ST)  
③第3章 イメージ・モデリング (IM法)  
④動的システムモデルの基本型  
ホームページ参照 (URL <http://www2.toyo.ac.jp/~mikeda/>) (2007年3月31日時点)
- [24] 池田誠：「研究プロジェクト3『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』ハイパー化ソフトを用いたネットワーク学習支援データベースの構築に関する実証的研究」東洋大学情報センター・情報科学論集第31号、p.81-88、2000年3月
- [25] 池田誠：「システム・ダイナミクスのグループ・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」、p.19-32、『研究プロジェクト報告集2001年』東洋大学メディア・ネットワークセンター、2001年3月 (内容：SDソフト=Stella, Powersim, Vensim, DYNAMOPIIIの比較紹介など)
- [26] 池田誠：「自然エネルギーによる循環型社会の実現に向けた環境教育ツールキット分科会報告」、p.121-135、開発技術学会誌、2001年7月
- [27] 池田誠：「システム思考 (問題解決と意思決定のための図解を用いた論理的思考技術) の教育に関する実証的考察」、p.59-76、東洋大学国際地域学部紀要『国際地域学研究第6号』2003年3月
- [28] 池田誠：「研究ノート：システム・ダイナミクスによる多重階層型地球環境モデル (グローバル・モデル) の研究に関する中間報告」国際システム・ダイナミクス学会誌 No.3、p.89-95、2003年5月
- [29] 池田誠：「第2部第1章：中心市街地活性化のイメージ・シミュレーション」、『交通体系から市街地活性化をはかるための研究調査報告書』、東洋大学地域活性化研究所、p.33-49、2004年3月
- [30] 池田誠：「第3章地域における情報の受発信：大学と地域の研究ニーズと研究シーズの連携について」、『広域的地域情報システムの構築に関する研究 (平成13年度～平成15年度特別研究成果報告書)』、東洋大学、p.59-77、2004年3月 (絶滅危惧種ムラサキを用いた地域活性化方策)
- [31] 池田誠：「研究方法：システム思考とグループ・モデリングによる政策シミュレーションについて」東洋大学国際共生社会研究センター/2004年度ワークショップ資料：ワークショップ (東洋大学国際共生社会研究センター プロジェクト3) 「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」2005年1月14日、東洋大学国際共生社会研究センター・群馬県地方自治研修所収録、p.3-11、2005年2月発行
- [32] 池田誠、末武透、手塚節、中村州男「イメージ・モデリング・シミュレーション思考支援ソフトによる参加型 e-Learning の効用」2005年9月8日、大学情報化全国大会、
- [33] 板倉聖宣：「はじめての仮説実験授業」、国土社、1974
- [34] 板倉聖宣：「仮説実験授業の考え方—アマチュア精神の復権」、仮説社、1996
- [35] 板倉聖宣：「仮説実験授業のABC」、仮説社、1977
- [36] 板倉聖宣：「未来の科学教育」、国土社・国土新書、1966
- [37] 松本憲洋：Powersim 入門研修資料

#### 参考情報 (JSD 会員用フォルダーからダウンロード可能)

K-12の教材や関連情報は、これまでシステム・ダイナミクス学会月例会で、筆者の一人である末武がいろいろ紹介してきた。その一部を会員用に公開している。

- 1) ホブキンス、「ハムレットをシミュレーションに使った教育」。参考文献[7]、Hopkins, P.L. “*Simulating Hamlet in the Classroom*”, System Dynamics Review V8 N1, Winter 1992 の訳
- 2) フィッシャー、「イースター島の人口モデル」。参考文献[8]、Fisher, Dianna M., “*Easter Island Population Model*”, CLE, 1992 の訳
- 3) リッチモンド他、「システム・ダイナミクスの未来とK-12の学習中心教育」。参考文献[13]、Richmond, Barry et al, “*The Future of System Dynamics and Learning-Centered Learning in K-12 Education*”, CLE, 2001 の訳
- 4) クアデン他、「変化の形」。参考文献[9]、Quaden, Rob and Alan Ticotsky, “*Shape of Change*”, Creative Learning Exchange, 2004 の訳

**参考 HP** (2007 年 3 月 31 日時点)

1) CLE: Creative Learning Exchange, ([www.clexchange.org/](http://www.clexchange.org/))

本稿で紹介した米国の K-12 関係の教材や ST/SD 入門、CLE が主催している K-12 関係の国際会議の資料などがダウンロードできる。

2) 池田誠のゼミ HP (<http://www2.toyo.ac.jp/~mikeda/>)

本稿で紹介した筆者の一人である池田が実施している東洋大学での授業の教材やケース・スタディなどがダウンロードできる。

3) Pegasus Communications Inc, ([www.pegasuscom.com/](http://www.pegasuscom.com/))

ST/SD 関連の書籍や視聴覚教材の出版社として有名であり、また、ST 関連の国際会議や組織学習関連の国際会議、ワークショップなどを支援している。この出版社から子供向けの ST/SD 教育用の書籍や読み物が出版されている。

4) SimTaKN の HP (URL <http://hp.vector.co.jp/authors/VA017379/Help/SimTaKN.html>)

5) MIT の Road Map の HP (URL <http://sysdyn.clexchange.org/road-maps/rm-toc.html>)

MIT の SD 入門教材である Road Map が公表されていて、ここからダウンロードできる。