

システム・ダイナミックスとOR

恒例のORサロン、第5回目の内容を紹介いたします。SDとはなにか、SDになにが可能か、SDの問題点はなにか、などの討論を通じて試練に立つSDの姿が浮きぼりにされたと思います。

SDとはなにか

A 本誌の今年の3月号にシステム・ダイナミックス(SD)の特集がのりましたが、そのために、SD部会の島田俊郎主査(明大)がまとめられたのがあります*。

SD部会でも議論しましたが、SDをどのように考え、どのように定義するかは、各個人で差があるわけですね。SDをシミュレーション手法の1つであると考える人もいるし、SDはシステムの動特性に関する理論であると考える人もいて、日本では、SDを使っている人々の間でもその定義はかならずしもまとまっているとはいえません。そこで、3月号では、実際に、SDに対するいろいろな人の考え方をのべて、それに加えて、島田主査ご自身の考え方をのべるという形になっています。昨年刊行されたOR事典にSDの説明をのせるときにも、いろいろな意見があったようです。

司会 OR事典には、「SDとは、社会システムの行動を分析するためのシミュレーション模型作成の技法である。」となっています。

B 私見ですが、とりあつかう対象によってかわってきたとも考えられます。最初は、企業の動的な特性を研究するために考えられたものでインダストリアル・ダイナミックス(ID)とよばれていました。

つぎに、地域の問題をあつかいアーバン・ダイナミ

クス(UD)とよばれました。つづいて世界モデルの構成をあつかい、ローマクラブの研究委託に対するMeadowsの報告「成長の限界」としてしられているワールド・ダイナミックス(WD)に発展し、最近では、国家レベルをあつかうナショナル・ダイナミックス(ND)、健康医療問題をあつかうヘルス・ダイナミックス(HD)など広く社会システム全般をあつかうようになり、これらを総称してSDとよんでいるわけです。したがって、この手法を適用する、とりあつかう問題の対象によって、その名前もかわってきていると考えられるわけです。

A IDからUD、……最後はSDと、よび名はかわっています。しかし、島田主査の考え方は、そういうものを区別しないで、総括して定義されています。また、定義の問題で、SDというのが、理論であるのか、理論ではないのかという点にも議論がありました。OR事典のように、技法であると定義することに対しても、あまり超ベテランでなくても、一定の教育のある人が、ある一定の手順を踏めば同じ結論に達するとか、一応の結果は得られるとかいうようなことが満たされていないと、技法としては、おかしいのではないかということと、現状のように、SDを使う経験をしてみない人にはわからない、または、できないということでは、技法とはいえないという意見もありました。

結局、部会では、SDは理論ではないけれど、方法であるということになったのです。

SDの応用例

A SD部会は、1973年に発足して現在に至っています。活動のあらましをお話すれば、どのような応用例があるかはおわかりになると思います。経営科学の今年の7月号(19巻3・4号)の部会だよりに報告されておりますが、MeadowsのWDについての意見交換とか、メンバーの事例をたたき台にして討論するとか、SDに対し

* 島田氏は、「SDの歴史とSDモデルの信頼性」のなかで、SDの創作者であるMITのJay W. Forresterの真意を「SDは、シミュレーション・モデルによってシステムの構造と成分相互関係をあつかう理論である。」と推測し、また、いろいろな人のSDに対する考え方を記述した後で、自分の考えとして、「変動するシステムのシミュレーション・モデルの動特性を明らかにしようとする方法がSDである。」とのべている。

ての考え方をメンバー以外の人に講演していただいて議論するとかですね。

事例としては、たばこの喫煙に関する「たばこの世界モデル」、年金シミュレーション、プロセス制御へのSDの応用、ドルショック下の企業行動モデル、エネルギー・ダイナミック・モデル、むつ小河原の開発に関する「地域開発モデル」、体内の血液などの問題をあつかう「腎機能シミュレーション」、SDによる医療システムの分析などがあります。

最初はDYNAMOに関することばかりだったのですが、DYNAMOとくらべてCSMPがどんな特徴をもっているかということも議論しました。

また、1 昨年(1979)の5月に、部会のなかに4つの班を設けて、日本におけるSDモデルの収集と整理、正確さ・理論的演繹性・モデルの妥当性などに関するSDモデルの理論面での研究、社会的要因の数量化について、およびLP、顔で表現する表示方法などというほかのOR手法とのドッキングについて検討しています。

E faces analysis とSDをドッキングするというのはどういうことですか。

A DYNAMO、すなわちSDの結果は、普通時間軸で表示しますね。faces analysis をSDに加えるというのは、あらかじめ定められた数項目を顔の要素として用い各時点において顔形を画きださせて比較しようという試みなのです。

SDの問題点は？

D 一応SDといった場合は、フローとストックの概念、つまりレベル変数(状態量)とレート変数(流れの量)の区別をはっきりさせ、その間の関係を差分方程式の体系にまとめ、コンピュータ・シミュレーションを行ないますね。だから、ストックとフローの概念があてはまるシステムなら、どんなものでも、SDを適用できると思いますが。

A そうですね。たとえば、計量経済学の方法で行なうべき分野の経済成長の問題をSDで行なっている例もあります。計量経済モデルというのは、過去のデータから論理的につくられるのが主体なのですが、それに、非線型な要素を入れたり、人間のいろいろな直感とかいった未来の情報を追加してモデルを考えていくためには、SDモデルでなくてはならないという意見もあります。現在、計量経済の分野に、SDが適用できないということではなく、すべてに適用された例はたくさんあるといっ

てよいと思います。

D その場合、SDの方法と計量経済の方法とどちらのほうが有効性があるのですか。非線型なものは、SDモデルに入ってよいが、計量経済モデルでは、一応非線型なものはいらないとか、SDに関しては、こういう欠点があるとか、限界があるとかについてはどうなのでしょう。

A たとえば、過去のデータを回帰分析などで、あてはめることができる場合に、計量経済モデルのほうでは、多変数で構成されるモデルの母数の推定方法が理論的に明確になっています。一方、DYNAMO を用いてSDで行なう場合は、たぶん、各予測式があっているか、あっていないかについて、個別に、過去の結果をみてくらべることはできるけれど、総合的な、論理的な処理は、むずかしいのではないのでしょうか。

E モデルの妥当性とか、結果の正確性とかについてはどうなのでしょう。DYNAMO は、使っている情報が非常に少ない割には、パラメーターを非常に多く用いていますね。そうすると、求められる結果の動きうる範囲が広がってしまって、結局、自分の考えていることをDYNAMO を使って表現したにすぎなくなってしまうという疑問もでてくるのではないのでしょうか。

C 会社で実際に使っている場合は、ご指摘がありましたように、気にいった結果がでるまで、パラメーターをかえていきますね。

そういう観点から、ある構造のモデルがあるとき、パラメーターの変動が、結果にどう影響するか、モデルのなかでどのように伝播していくかについて一般的な方法がないか考えているのですが、むずかしい問題ですね。

F SDというのは、非常にマクロにしか使えないような気がします。実際、できた解が、本当に相手を説得できる資料になるのかどうかということが非常に心配なわけです。ほかのOR手法によって得られた結果とSDの結果を比較検討し、結果に対して納得がいくまで、SDのどのパラメーターをかえていくのかということが、非常に問題となると思います。そのへんが、非常に個人によって左右されるので、解自体が、本当に使える結果なのか否かが、SDに関しては、疑問なわけです。

A 島田主査がよくいわれていることは、SDは予測を目的としたものではないということです。また、SDとは問題を発見することだという人もいますし、一口でべることを数量で論理的に表現するものという人もいます。他のOR手法でもできる問題ならば、SDで解くの

はあまり意味がないと思いますが、普通アナログ・コンピュータで行なう問題などは、SDを用いてもそれほど問題はなと思います。

問題となるのは、やはり、将来の不確定なことに关する1つのシナリオをつくるような問題のときには、どんな方法でやっても、その結果の信憑性については困るでしょうね。デルファイ法とのドッキングとか、確率論的(probabilistic)SDという、1種のマルコフ過程とのドッキングとかという話もあります。

F どのパラメーターをかえるかによって、その波及効果が非常に異なりますが、変更するパラメーターの選択方法は試行錯誤によるしかないのでしょうか。

A たとえば、WDで、このモデルに対する批判論文はかなりあります。論理的に批判している人もいるし、また、一方では、数量的に、ケース・スタディについて、Meadowsらは、パラメーターをいろいろかえてみても結論はあまりかわらないといっているが、敏感でないパラメーターをかえているのであって、こういう敏感なパラメーターをかえると結論がかわってしまうという人もいますし、さらに、あつかう次元を1つ増して6次元にすると結果は全然逆になってしまうとか……。

B ある面においては、政策に対して、こういう政策をとりますと、こうなりますよという以外、なにもいえないこともありますね。モデルの検証性については、地域開発の問題ですが、実際に構造方程式をつくりまして、過去のデータを入れていった場合に、たとえば、人口というところで、過去の経緯とまったく同じ結果が求められれば、モデルは正しいだろうと考えているわけです。

問題の目的に対する効果は？

A 実際問題として、兵庫モデルなどでは、県とか自治体などが、結果をかなり参考に行っているようですね。

B WDも「成長の限界」として発表されましたから、ここで考えなおす必要があるのではないかという、1つの反省にはなったと思います。結局、こういうような政策をとっていくと、結果はこうなりますよということがSDでいえるわけですね。

A むつ小河原の地域開発モデルでも、結果を住民との対話の道具として整理されています。問題における、対話の道具であったり、政策への助言であったり、警告であったり、いろいろあると思います。

C 広島モデルも対話の道具であるということだったですね。

G 社会システムのような対象の広い場合と、1つの企業内システムのように範囲の狭いミクロ的なものが対象になる場合とでは、モデルの表現方法が少しかわるかもしれませんが、どちらにしても、モデルの信憑性は実際に問題なわけですね。したがって、結果の使い方も考えておかないと、モデルをつくる対象そのものに、いろいろな見解がでてくるのではないかと思います。

解の安定性は？

A 多次元の微分方程式を解くことになるわけですから、その解は、パラメーターの少しの違いでも動いてしまうわけで、解が安定か、不安定かの問題は、100年とか200年の長期間の場合は当然問題となりますが、考えている期間が短かければ、それほど大きな影響はないと思います。

B 考えている期間内に発散するモデルはよくないのです。収束するということは、絶対に必要なのです。

C 成長モデルというのは、典型的に、発散する場合ではないかと思いますが。

A 十分に時間がたつと、別な制約があらわれてくるわけですよ。

C 確かに、企業モデルで考えると、公害などは、近ごろは制約としてどうしても付け加えますが、5年くらい前までは、考えに入れてませんでしたね。

E 医療関係では、患者が病気になると、患者の体内で、正常に復帰させようとする制御が働くわけですね。この制御がうまく働かなくなると、発散状態になって、あるしきい値を越えると患者は死んでしまうこととなります。社会システムは、人体ほどうまく制御がきかないのではないかと思うのですが、その点どうなのでしょう。

B レスポンスは、生体モデルにくらべて、経済モデルは遅いですよ。また、SDを使って地域の対話を行なうとしても、地域全体の結果はわかるけれども、自分にとってどう影響するのだろうか、または自分たちは、そのときにどの状態にいるかということが、いちばん興味あることですが、せまい領域で問題を考えなければならなくなりますので、きちんと行なうのは、非常にむずかしいですね。

モデルのつくり方は？

F モデルをつくる場合、基本的な細かいものからつみあげていくDown-Top方式とマクロな粗いモデルをさ

きにつくってから、細部をきめていく Top-Down 方式とがありますが、どちらが好ましい方法なのでしょうか。
D 問題によってかなり違うのではないですか。たとえば、高速道路をつくるとき、ある地域の住民にとっては、騒音が大きすぎて高速道路をつくるのは有害になる。一方、県全体でマクロ的にみると非常に有益である。このとき、公害問題としてとらえると、地域性が問題になってくるので、下からつみあげるのも非常に重要だと思いますね。

A いろいろなつくり方がありますが、普通、はじめ粗いものをつくって詳細化していく。はじめ外生変数としていたものを内生変数としていくようですね。

B Down-Top 方式、Top-Down 方式の両方ともに一長一短があるのではないですか。

E Top-Down 方式でもうまくいった例もあるし、失敗した例もありますので、場合によるのではないのでしょうか。最近になって MUMPS という医療データ・ベース言語が使われるようになってから、Top-Down 型のモデルがみなおされてきているような感じがします。

H モデルの妥当性ということを重んじる観点から、社会システムのように、こういう政策をとれば、システムはこういう動きをするという説明の方向と、逆にリアル・システムのように、システムを説明するために、どういう構造になっているかを調べる方向の違いによって、やり方はかわってくるのではないのでしょうか。政策として使う意思があるのか、説明で使おうとするのかによって、ずいぶん違ってくると思うのですが。

B ブラック・ボックスを説明するのに使っていたらよいのではないのでしょうか。

A 工学の分野では、採用したモデルを全員が納得するところまで論理的に、あるいは、実験などで詰めていくべきでしょうが、一方、SD に対しては、全員が納得するということを要求するのは無理で、パラメーターとか仮定について、それがもっともだと思う、ある特定の人を説得できればいいという考え方があります。

C SD では、着目点や立脚点でずいぶん結果も違ってくるのではないのでしょうか。

パラメーターの値のきめ方は？

A パラメーターの一部は、意思決定者がきめる場合もあると思いますよ。たとえば、GNP の来年度の伸び率などは、そうでしょうね。

I 基本的には微分方程式を解くのですから、初期値を

どうきめるかが問題です。システムの構造がよくわかっているときには、初期値を与えることができますが、社会システムの場合には、どのように初期値をきめていくのですか。

A 初期値には、現在の統計のようなものを入れたらどうでしょうか。

I ある量が増加していくような現象の場合、初期値によって、あとの状態がかわってしまう場合があります。初期値に用いることができる統計があればよいのですが、それがいない場合にはどうするのでしょうか。

A 人口などであれば、人口統計を使えばよいですが、資本量とか資源量とかの場合は問題があるかもしれませんね。

C 初期値というとレベルのことですから、レベルに合ったものの初期値というのは、はっきりしているものが多いような気がします。

A ワールド・モデルでも、レベル式で、たとえば、汚染の程度などは、1つの指標であつかい、スケーリングの問題みたいになってますね。

C ワールド・モデルは、現在を1としてやっていますね。

A 生活の質などは、現在を1にすれば、将来は何倍になるとかということをやっているのでしょうか。

B 経済問題を行なう場合にも指標を用いる方がやりやすいですね。

G 初期値のうちで、量的に表現できるものは簡単ですが、たしかに影響があるけれども、量的にいくらかきめにくいようなものもありますね。たとえば、研究開発の効果なるものは、数年の遅れを伴ってあらわれてくるのですが、数量的な表現の仕方というのがわからない。

B 兵庫モデルの魅力乗数は、評価のグラフを用いて、レベルをきめているようですね。

これからの問題は？

A 技法にするには、誤差の伝播、統計的な判定、感度分析とかいうような、SD の結果の検定ができるようなことが必要になると思いますね。

司会 言語として DYNAMO のほかになにか考えられますか。

A DYNAMO のかわりとしては、CSMP などですね。

I 社会システムの現象のうち、DYNAMO では表現できないものがあるのではないですか。

A もちろん、制限がものすごく多いですね。DYNAMO だけでは、時間を固定して、そのなかで iteration

を使ったり、サブルーチンをまわしたり、また、LPをなかくみこもうというのはいけません。ドイツではそういったものをなにか開発したとききましたが、DYNAMOでも、FORTRANに落すことができるならば、いろいろ細工はできるようになるでしょうが。

C SDのモデルの場合には、パラメーターとか構造の検証ということが問題になりますが、計量経済では、そこから出発しているということで、あつかっている問題もだいたい同じ範囲のものをあつかっており、長短相補っていくのではないのでしょうか。

J 大都会の場合と地方の場合とでは、構造が違ってくるということがあるのですが。

司会 SDでなければ、質が違うということで、はじめから同じモデルにはしませんが、SDではどうですか。

A 普通には、同じ構造式で行なうのでしょうか。

B モデルをつくるときに、クローズにするのです。外生変数としてパラメーターのなかに入れたものが、大きな影響を与える場合には構造式自体の問題になります。地域の構造方程式と全国の場合の構造方程式とが違っては、システムができませんが。

K SDにあった問題の把握、モデルづくりの時間的制約、結果の有効性などを考えると、まだまだ企業のなかでSDを生かすというのがむずかしい感じがするのです。将来は、現在のLPと同じレベルの使い方をされるかもしれませんが、また、さきほど紹介された日本におけるSDの事例の収集の件ですが、これから、いろいろな場合に使われると思いますし、有効に使われていることもあるし、逆に、失敗することもあるのではないのでしょうか。失敗した事例の収集は、大切だと思いますね。

L 予測ではないという話がありましたが、SDをやって、こういうふうになるだろうと思ったのに、違った例など。

A 使いこなすのに困難であるということで長つづきしないケースはいくつかありますね。

F 同じ問題をとりあつかうのに個人個人によってモデルが違ふということになると、SDの発展性は今後どうなのでしょう。

A だれもが納得できるモデルにはならないけれども、応用面では広がってゆくことは確かでしょうね。いままであつかわれなかった問題というか、あいまいな分野に対する分析というニーズは高くなっているのです。そういった問題をあつかうには、SD以外にあまりいい方法がないですね。

好きであらうとなかろうと、こういう研究はふえるこ

とは、まちがいないだろうと思います。

C ウィナーのサイバネティックス、すなわち機械も生体も社会も共通したメカニズムを持つという見方が存在する以上は、SDはずっと使われつづけられるのではないかと思うのですが。

A フィード・バック構造を持っているということが共通した特徴なのですが、しかしかならずしも、フィード・バック要素が、SDのモデルのなかで重要な位置を占めている、あるいは、敏感に効いてくるとはかぎりませんね。

C しかし、どんなモデルもフィード・バック・ループがあるというのは、たしかですね。

B 私としては、SDはいま試練であって、ますます使われていくと同時に、反面、理論的に裏づけようという努力が行なわれますから、ますます1つの証拠として、モデルがつくられていくのではないかと思います。

司会 OR事典で社会システムについて引いてみますと、11項目にもおよぶ特徴がのべられています。そのほとんどは、いままでのお話にでできましたSDの特徴と同一のものです。

これらの特徴をいかすように、SD部会は、今後もつけられるようですから、興味をお持ちの方は、部会の方々と連絡をとって一緒にやっていただきたいと思います。

第5回ORサロン：

「システム・ダイナミックスとOR」

日時 昭和51年2月5日 18時～20時

場所 学会センタービル会議室

出席者 秋元武(システム科学研)・伊藤恵造(丸善石油)・北野哲弘(電電公社)・新村秀一(住商コンピュータ・サービス)・高尾広(NHK技研)・能村幸彦(青学大)・三輪彰(東洋情報システム)・山本邦彦(丸善石油)・芳尾莊吉(総合調査統計研)

システム・ダイナミックス部会、栗原宏文(東亜燃料)・榛沢芳雄(日大)・富田潔(味の素)

司会 研究普及委員会 山内慎二(NHK技研)

記録 武田俊男(日本アイ・ビー・エム)・山内慎二