

システム・ダイナミクス(下)

—「成長の限界」以後の進展—

島田 俊郎

4. National Dynamics

ND分野では、MITのSDグループによる米国の国家モデルの研究が最も注目すべきものである。これについて少し詳しく述べることにする。[57][62][63][64][65]

このモデルの研究は、1973年、Forresterの指導のもと、SDグループ(10名位)により、Rockefeller Brothers Fund, National Science Foundation, Independence Foundation その他の資金援助によって始められた。初期の目的はインフレーションの基礎をなす諸過程の究明にあり、1800年から2100年に渡る長期の変動を考えた。モデルは、短期の景気循環、やや長期の利子率および資本投資の変動、そして成長から環境的に決まる平衡状態への超長期移行等をモデル内で扱えるようであればならない；インフレーション、失業、景気後退、国際収支、エネルギー、環境等の相関連した研究、これらの研究のそれぞれについて、モデルは、国家の主な困難のもとになる力を説明したり、国の可能な将来を明らかにしたり、より望ましい状態になしうる改革をためしたりする助けになるべきである；このような視点で研究が進められた。

米国のNDモデルは始め、産業、財政、労働、人口、家計、公共の6セクターによって作られ、これにエネルギー・セクターが加えられた。産業セクターを使って景気循環が研究された。経済学文献のdynamic modelでは供給および需要を生産のフローあるいは消費(購入)のフローとして扱うのみで、それらのストックである在庫のレベルあるいは受注残のレベルを考慮していない。したがって、真の生産過程の動特性を捉え損っている。

労働調整にステップ関数を導入するシミュレーションの研究、資本投資にステップ関数を導入するシミュレーション研究、さらに、これらを組み合わせ、過去の実績

値を考えた100年の長期に亘るシミュレーション研究を通じて、研究結果は、労働調整政策が短期生産政策および在庫調整政策との関連のもと、4年周期景気循環の基となり、資本投資政策は、より長い周期の経済循環に包括されることを示す。[61]

すなわち、労働獲得と短期の生産および在庫の管理政策が短期(4年周期)景気循環の主たる基となる。さらに、資本投資政策は、いわゆるKuznets循環の15~20年循環を引き起こすようである。このように産業セクターの長期的な解析は、景気循環のもととなる原因の洞察を深め、経済の安定化を高める政策の立案に役立つことができる。最近でもインフレーションの研究が本モデル研究の主力の1つであるが、それについて次の結果がでているという。

1. 貨幣供給の拡大は、生産、失業等の変数に長期的影響を与えないで、賃金、物価の比例的上昇をもたらす。
2. 貨幣増量の変化は、失業者数に急な変化を引き起こさず、むしろききめを現わすのに20年もかかるようなゆるい影響を及ぼす。長い貨幣増大の後の急な増大停止でさえも、インフレーションをとめることはできるが、失業率には短期的な影響を与えない。
3. 貨幣供給の継続的増大なしには、組合の賃上げ圧力やその他のコスト・プッシュ理論では、インフレーションが続くことの説明はできない。しかしながら、コスト・プッシュ要因は、貨幣の増大を招く低流動性とか高い失業率のような徴候を呼ぶことはできる。
4. 賃金、物価の制御は一時的にそれらのレベルを制約することはできるが、ひとたび制御が除かれると一時期インフレ率が加速する。

本モデルの産業、労働、家計の各セクターは完成に近い状態であり、それぞれ成書としての出版計画が進められている模様である。着手以来7年を経過し、多くの人材を投入、過去100年に亘る長期変動を研究、長期および

しまだ としろう 明治大学

短期の景気循環を現わせるように努力を払い、かつ計量経済学等隣接分野の研究とも比較しながらモデル構成および検証を進めている。この研究態勢は大に見習うべきで、わが国でも、どこかの音頭で、このような総括的国家モデルを試みる事が望ましい。

日本の国家モデルは堀[51]に始まった。

堀モデル

分析の対象を日本経済の成長と循環に絞り、成長・循環に直接関係しない要素は、極力、簡略化している。

1. 部門別

個別構造式(個人消費, 設備投資, 在庫投資, 輸入, 住宅投資, 政府消費, 政府投資, 輸出)

景気過熱調整メカニズム

金融政策メカニズム

円切り上げメカニズム

財政政策メカニズム

環境部門

エネルギー部門

1. DT=1/16年

1. 計算開始時 1952年

原モデルは1952~1970年の実績値に適合するように構成された。

1. 計算期間

自由であるが表示例は30~50年。

筆者がボストン滞在中の1967年春、日本の研究者の話があるから一緒に聞かないかと Roberts教授に誘われて Forrester 以下MITのSDグループに混って話を聞いた。それが堀氏で、本は1974年の出版であるが当時すでに堀の基本モデルはできていたわけで、SDグループのNDモデルよりだいぶ早く、同じように国家経済の成長と循環を説明すべく研究が進んでいたわけである。この説明会で堀モデルには、時系列のテーブル関数が多く見られるがクロード・モデルにならぬのではないかという質問がSDグループから出された記憶がある。堀氏の回答がどのようであったか記憶にないが、SDモデルはクロードでなければならないというMIT・SDグループの考えが鮮明に表われていて、質問のみ記憶に新しい。

MITのNDモデルとは考え方も構造も違うが、本モデルの特徴は、日本の景気循環が克明に調べられ、それとシミュレーション結果とを比較して、どのように修正すれば、実際の波形に近づけられるかを、不規則変動、ショック等を使って試みている点にある。本モデルの考え方は、電力中研のエネルギー・ダイナミック・モデル中のマクロ経済モデルにとり入れられていると聞いたことがある。

5. Health Dynamics

Hirsch[67] は通院診療システムシミュレーションを研究している。本モデルの主要素は、1. 一般開業医、2. 内科医、3. 専門医の3診療単位であり、これらは、それぞれ病院、臨床検査所と図1の通り連絡している。

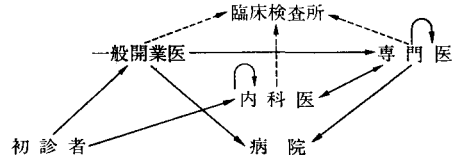


図 1

各診療単位は診察の結果5種類の決定を行なう。すなわち、1. 再診、2. 他の診療単位への紹介、3. 慢性患者名簿に加える、4. 病院に紹介、5. 全治。診療に関与する変数として次の5種を考える。1. 医師時間、2. 医療補助者時間、3. 補助医師時間、4. 研究所利用、5. X線利用。一方、患者を7種に区分、すなわち1. 初診、2. 再診、3. 予防来診、4. 健康診断、5. 乳児健診、6. 妊婦診断、7. 慢性患者。医師の決定に影響を及ぼす要因には次のものがある。すなわち、仕事量、予約待ち時間、責任を守る効果、医師給与の刺激効果、病院・衛生検査所利用純コスト、保険適用範囲、内科医が専門医として働く程度、医師時間、診療補助者利用可能度。

モデルは予約スケジューリング・メカニズムをも含んでいる。本システム中にはいろいろなフィードバック・ループがあるが、一例をあげれば図2の通りである。

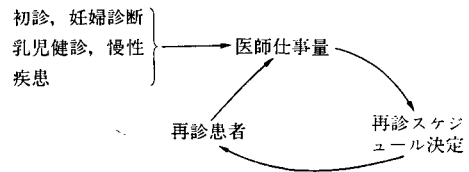


図 2

すなわち、再診スケジュールを含めた診察計画は、医師仕事量を定める。医師仕事量は、入れかわって再診スケジュールの決め方に影響を与え、その再診スケジュールが将来の医師仕事量を左右する。

同じような多くのフィードバック・ループが、どの通院診療システムにおいても働いている。

ついで、通院診療施設を含む医療施設システムのシミュレーション・モデルを扱った[68]。まず、医療施設を4種に区分し、これをそれぞれセクター名とした。通院施設、急性疾患用施設、長期診療施設、家庭サービスの4セクターである。各セクターはその内容によって次のように区分する。(米国の例である。)

通院施設 (従事者)	急性疾患 用施設 (ベッド数)	長期診療 施設 (ベッド数)	家庭サービス (環境)
1. 一般開業医	1. 外科	1. chronic	1. 家庭生活
2. 専門医	2. 重症	2. skilled	2. 独り住い
3. nurse practitioner	3. 小児科	3. intermediate	
4. 臨床検査所 スタッフ	4. 産科	4. residential	
	5. 精神科	5. sheltered housing	
	6. 短期患者 (入院扱いの)		

(訳しにくい語は原文のままにしてある.)

各セクターのレートは、開業医セクターでは診療時間、急患施設および長期診療施設の各セクターではベッド数、家庭サービス・セクターでは看護時間で計られている。

このモデルによって、前納計画（一定の、年間前納額が前納申込者の医療費をカバーするシステム）に多数の人々をふりかえる場合の影響、予防医療に相当量の医療従事者および医療施設を割当てるときの影響、等をシミュレートすることができる。

本例および前例で見られる通り、診療施設を区分すること、診療者を区分すること、診療者の労働時間を区分すること、それらの間の相互依存関係を考えること、等がこのようなモデルを取り扱う一般的な方針である。

彼はさらに、米国における歯科マンパワーを計画するための新しい考え方を示している[69]。本論文は歯科関係従事者および施設、歯科医療技術、歯科医療用資金手当のそれぞれの分野で大きな変化があった場合に、それに対応しようとする歯科開業医と患者の動きをシミュレートするモデルについて述べたものである。本論文では歯科診療従事者および施設の診療効果を考える際、受診件数ではなく口腔保健に焦点を合わせている。

このモデルがシミュレートするのは、開業歯科医と患者のそれぞれの動きが歯科医および補助者マンパワーの利用量、歯科保険給付等の変数の関数としてどのような時間経過をたどるかである。開業医と患者の動きは相互依存的であり、一方、歯科医療行為と歯科疾患とは、因果関係の循環連鎖をつくる。このようなフィードバック・ループを扱かうためにSD手法が選ばれたのである。

本モデルでは、患者集団を予防型と症候型の別々の医療希求パターンに2分し、患者1人あたり充填所要数(国民平均)を考え、これを患者集団の口腔保健を計る量とし

て用いている。

本モデルは予備研究用モデルであるが、暫定的に3つの結論を導き出している。1つは、歯科診療従事者および施設を増しながら国民健康保険計画の歯科給付の導入を慎重に行なうべきである、さもなければ、口腔保健に不測の否定的効果を生じるおそれがあるということである。第2は、人口増加の結果、口腔保健は低下するであろうから、それを避けるために、大型保険プログラムがなくても歯科診療従事者および施設の利用可能量を増やすとか、医療提供をより実り多きものにするとかが必要である。最後は、歯科診療従事者および施設稀少地域では歯科医師の地域的再配分によっていちじるしく便宜を受けること、逆に再配分なしに保険プログラムを実施すると甚だ有害であるということである。

HDは日本でも種々研究されており、本誌にHD特集[71]他が組まれたのも大方のご存じの通りである。論文も文献表に見られる通り発表されており、学会報告も多い。

前記の例の通り、SDの特徴はフィードバック・ループによってシステムの動特性を考える点にあるので、HDでもその点を明らかにする考慮がさらに望ましいと考える。

6. SDの理論化

World 2 (Forrester), World 3 (Meadows)あるいはUDの各モデルおよびその内容に対する多くの批判論文が書かれた[133][134]。またUDに関する分析および批判論文の特集雑誌も出されている[54]。残念なことにこれらの批判論文の多くは、価値が認められなかったのか、MITのSD News Letterの文献表にのっていない。しかし、われわれは、SD外部の研究者がどのような疑問を抱くかを知るため、批判を批判として受けとめる必要があると考える。批判の1つが、SDには理論がないという点であったが、ようやく1973年頃から、理論的研究が現われてくる。

制御理論を応用してSDモデルのパラメタ最適選択研究に先鞭をつけたのはBurnsであろう[96]。World 2モデルによって次のように扱っている。

モデルは次の非線形一階微分方程式体系で表わされる。

$$\dot{x} = f(x, u, t), \quad x(t_0) = x_0 \quad (1)$$

x : レベル変数集合

x_0 : 初期条件集合

u : 制御パラメタ集合(BRN, NRUN, POLN, CONAF, CIGN)

$u = (1, 1, 1, 1, 1)$ は制御なしの状態に対応。

Forrester の意図に従って、人口を安定させ、生活の質を最大にするための指標として、次の量が使われている。

$$I = \int_{t_0}^t -C_1 QL^2 dt + \int_{t_0}^t C_2 (P - P_{ref})^2 dt + \int_{t_0}^t C_3 \|u - 1\|_W^2 dt \quad (2)$$

ここで QL : 生活の質

P : 人口, P_{ref} : 3.767×10^8 , 1973年の人口

$C_1=1$, $C_2=1 \times 10^{-16}$, $C_3=1$ と選定.

W : 5×5 の単位行列

パラメタ最適化

(1)の条件のもとで(2)を最小にするために u をどのように選ぶかという問題であるが、その解法として Powell 法が選ばれている。

$u=(1, 1, 1, 1, 1)$, $I=12,800$ から出発した場合、

最適パラメタ値= $(0.60, 0.52, 1.16, 0.89, 0.71)$,

$I=-46$ (260関数計算)

Forrester が選んだ値

$u=(0.70, 0.25, 0.50, 0.80, 0.60)$,

$I=681$ から出発した場合、

最適パラメタ値= $(0.64, 0.44, 1.02, 0.84, 0.64)$,

$I=-44$ (230関数計算)

が示されている。

関数パラメタ最適化(開ループ最適化)

これは、パラメタ u を時間の関数 $u(t)$ とし、 I を最小にする $u(t)$ を求める方法である。

(2)を Mayer 形に変換、変分法を介して、問題を 2 点境界値問題に帰着させる。この型の境界値問題を解くために各種の方法がテストされ、最急降下法が選ばれ、 $u(t)=(1, 1, 1, 1, 1)$ から出発した計算の結果、 $I=-104$ に達した。驚くべきことに、POLN, NRUN, CONAF は 1 に大変近い値でほとんど変化せず、時間的に大きく変化するものは、CIGN と BRN の 2 パラメタだけである。パラメタを一定として最適化した前の場合は、5 パラメタすべてが変わることを必要とした。パラメタを一定として最適化するだけでは不十分であることがわかる。

sensitivity に関して MIT の SD グループの Britting 等は次のような扱いをしている。[81]

$$\dot{x} = g(x, x_0, \lambda, t) \quad (3)$$

x : 変数集合

x_0 : 初期条件集合

λ : パラメタ集合

変数 x のパラメタ λ に対する sensitivity を次のように定義する。

$$S(x, \lambda, t) \Big|_t = \frac{\frac{Dx}{x}}{\frac{D\lambda}{\lambda}} \Big|_t \quad (4)$$

モデル中の多数の S 関数の比較に際して、次の関数を integral square sensitivity として定義する。

$$I(x, \lambda, t) \Big|_t = \int_0^t [S(x, \lambda, \sigma)]^2 d\sigma \quad (5)$$

DYNAMOⅢを利用すると、多くの変数についての I 関数を同時に出力することができるので、論文末尾[81]に、Forrester の UD モデルを簡単化した Urban I と称するモデルの DYNAMO Ⅲによる I 関数値計算プログラムが紹介されている。それにより作られた I 関数値表により、どのパラメタが sensitive であるか、どの変数がどのパラメタに対して sensitive であるかが論じられている。

このような sensitivity あるいは最適化に関する制御理論、その他理論的研究にはその後いろいろな論文が、海外[97][110][123][126][134]、国内[116][124]とも報告されている。

このような進展に応じて Pugh-Roberts Associates は DYNASTAT を開発した。説明書によると、

- ヒストリカル・データによりパラメタを最尤推定する。
 - データに基づくモデルの統計的信頼性を記録する。
 - データと最も矛盾しそうな方程式を列挙する。
 - パラメタ推定値に信頼帯をおく。
 - モデルによる予測に信頼帯をおく。
- 等の特徴を持つという。

国内でもこの種の研究およびプログラム開発が進んでいると聞いている。

7. む す び

以上の通り、SD 研究は、理論面の研究に重点が移りつつあると考えられ、第 5 回 SD 国際会議の論文[52]も方法論に関するものを中心に選ばれたと聞くと、最近の国際会議の SD 論文募集を見ると、やはり方法論を主とし、ケース・スタディの場合、モデルによって政策企画にどのような利点があるかを明らかにするように要求している場合が多い。したがって、研究者としては、単なるモデル構成法の研究でなく、方法論、あるいはモデル構成に当たっての創意が必要であろう。学会の論文誌にも SD の論文がのるようになった[74]。SD 関係者の研究および応用事例の進展を切望する次第である。

文 献 (文献番号は先月号につづく)

(本, 論文とも, 報文集T-77-1の文献表以
後に出されたものをのせるのを原則とする)

本

- [51] 堀比呂志, “資源と環境と経済成長”, 至誠堂, 1974.
- [52] Randers, Jorgen and Leif K. Ervik, eds. *The Proceedings of the 1976 International Conference on System Dynamics*, Geilo, Norway, August 8-15, 1976. (Copies available from Resource Policy Group, Forskningsveien 1, Oslo 3, Norway.)
- [53] Randers, Jorgen, Lennart Stenberg and Kjell Kalgraf. *Skognaeringen i Overgangsalderen*, (Transition in the Forest Sector). Oslo: J. W. Cappelens Forlag, 1978.
- [54] Special Issue on Urban Dynamics: Extensions and Reflections. IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. SMC-2, pp.122-220. 1972.

論 文

ND関係

- [55] Forrester, Jay W. “Population vs. Standard of Living: The Trade-off That Nations Must Decide.” *The Futurist*, vol.X, no.5, pp.246-250, October, 1976.
- [56] Forrester, Jay W. “Growth Cycles.” *De Economist*, No.4, 1977.
- [57] Forrester, Jay W. “Policy Analysis Using the System Dynamics National Model.” System Dynamics Group Memorandum D-2881-1, Cambridge, MA: System Dynamics Group (E40-253, MIT, 02139), March 22, April 6, 1978.
- [58] Forrester, Jay W. “Changing Economic Patterns.” *Technology Review*, August/September, 1978.
- [59] Graham, Alan K. “Corporate Finance in a National Socio-Economic Model,” in *Proceedings of Summer Computer Simulation Conferences*, Simulation Councils, Inc., P.O.Box 2228, La Jolla, CA 92037, San Francisco, 1975.
- [60] Low, Gilbert W., and Nathaniel J. Mass. “Employment, Labor Productivity, and Wage Change.” System Dynamics Group Memorandum D-2845-1. Cambridge, MA: System Dynamics

Group (E40-253, MIT, 02139), 1978.

- [61] Mass, Nathaniel J. “Economic Fluctuations: A Framework for analysis and Policy Design,” IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. SMC-8, no.6, pp.437~449, 1978.
- [62] M.I.T. System Dynamics Group. “The System Dynamics National Project: Annual Report 1976.” Available as System Dynamics Group Memorandum D-2453-4, 1976.
- [63] M.I.T. System Dynamics Group. “Energy in the National Economy: National Energy Issues to be Addressed by the System Dynamics National Project.” Available as System Dynamics Group Memorandum D-2570, 1976.
- [64] M.I.T. System Dynamics Group. “Capital Formation and the Long Wave in Economic Activity.” Report on a meeting of Corporate Sponsors of the System Dynamics National Project held at MIT on March 11, 1977. Available as System Dynamics Group Memorandum D-2715-2.
- [65] M.I.T. System Dynamics Group. “Analyzing the Production Sector of the System Dynamics National Model.” Report on a meeting of Corporate Sponsors of the System Dynamics National Project held at MIT on July 19-20, 1977. Available as System Dynamics Group Memorandum D-2769-1.
- [66] Naill, Roger F., and George A. Backus. “Evaluating the National Energy Plan.” *Technology Review*, vol.79, no. 8, July/August, 1977.
- HD関係
- [67] Bergan, T.A., and G. Hirsch. “Simulating Ambulatory Care Systems: Assessing the Effects of Structure on Economic Performance,” in *Proceedings of Summer Computer Simulation Conferences*, Simulation Councils, Inc., P.O.Box 2228, La Jolla, CA 92037, Montreal, 1973.
- [68] Hirsch, G. B., and M. Howell. “Feedback Structures in the Health Care Delivery System: A Simulation Model for Comprehensive Planning.” *Report to the Office of Comprehensive Health Planning. Commonwealth of Massachusetts*, Pugh-Roberts Associates, Inc., 5 Lee Street, Cambridge, MA 02139, 1973.

- [69] Hirsch, G.B., and W.R. Killingsworth, "A New Framework for Projecting Dental Manpower Requirements" Pugh-Roberts Associates, Inc., 1973.
- [70] 池田謙一, 野城真理, システムダイナミックスと医療システム, 日本ME学会誌, 医用電子と生体工学, vol.14, no.2, pp.95~102, April 1976.
- [71] 開原成充, 医療需要の分析の一つのアプローチ, オペレーションズ・リサーチ, vol.22, no.10, pp.566~574, 1977.
- [72] 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, 1980.
- [73] 野城真理, 自動化総合健診センターを含む医療システム分析の試み, オペレーションズ・リサーチ, vol.22, no.10, pp.575~591, 1977.
- [74] 坂倉省吾, システムダイナミックスによる社会・経済問題の分析手法の研究——その応用としての「薬づけ」抑制のための健康保険法改正問題の分析——, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, vol.22, no.2, pp.138~167, 1979.
- [75] 桜井迪郎, B型肝炎のシミュレーション, オペレーションズ・リサーチ, vol.22, no.10, pp.592~599, 1977.
- [76] Stearns, Norman S., Thomas A. Bergan, Edward B. Roberts, and John L. Quigley. "Systems Intervention: New Help for Hospitals." *Health Care Management Review*, vol. 1, no. 4, Fall, 1976, pp.9-18.
- [77] Stearns, Norman S., Thomas A. Bergan, Edward B. Roberts, and Lauro Cavazos. "Improving Medical School-Hospital Interrelationships: A Systems Intervention." *Journal of Medical Education*, Winter, 1977.
- [78] 柳川 洋, 橋本 勉, システムダイナミックスの療病対策への応用——予防接種(結核)と集団検診(脳卒中)を例として——, オペレーションズ・リサーチ, vol.22, no.10, pp.575~584, 1979.
- 一般
ID, ND, HD 以外の SD 論文をすべて一般としてまとめてある。
- [79] Ammentorp, William and John Morris. "Dynamic Analysis: Extending Cost-Benefit Studies." *Educational Research Quarterly*, Summer, 1977.
- [80] Ammentorp, William and Kenneth Baltes. "Fund Raising Dynamics." *Fund Raising Management*, Fall, 1977.
- [81] Andersen, David F., Kenneth R. Britting, and Arvind Khilnani. "Dynamic Parameter Sensitivity in Social System Models," in *Proceedings of Summer Computer Simulation Conferences*, Simulation Councils, Inc., P.O. Box 2228, La Jolla, CA 92037, San Francisco, 1975.
- [82] Anderson, Jay M. "Computer Simulation in Chemical Kinetics and Environmental Science." Prepared for the *Symposium on Simulations in Teaching*, Northwest Regional Meeting, American Chemical Society, June 15, 1977.
- [83] Batchman, Ted E., and A. V. Wearing, Application of Dynamic Modeling to the Social Consequences of Telecommunication, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-6, no.9, pp.612~622, 1976.
- [84] Belden, Robert D. "FOSSIL User's Manual." DSD 85, Dartmouth System Dynamics Group, Thayer School of Engineering, Dartmouth College, Hanover, NH, 1977.
- [85] Blackman, A. Wade. "Forecasting Through Dynamic Modeling." *Technological Forecasting and Social Change*, vol.3, pp.291-307. American Elsevier, Inc., 1972.
- [86] Blackman, A. Wade. "New Venture Planning: The Role of Technological Forecasting." *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 5, pp. 25-49, American Elsevier, Inc., 1973.
- [87] Blackman, A. Wade. "The Use of Dynamic Modeling for Conditional Forecasts of Resource Allocation Policies." *Technological Forecasting and Social Change*, vol.6, pp.191-208. American Elsevier, Inc., 1974.
- [88] Botman, J. J. "Dynamics of Housing and Planning." A report to the Congress of the International Federation of Housing and Planning, report no.5006a. Rotterdam, Copenhagen: Bouwencentrum, 1973.
- [89] Boyce, Stephen G. "Management of Forests for Timber and Related Benefits (DYNAST-TM)." U. S. Department of Agriculture-Forest Service, Res. Pop. SE-184, 140p., Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC.

- [90] Boyce, Stephen G. "Management of Eastern Hardwood Forests for Multiple Benefits (DYN-AST-MB)." U. S. Department of Agriculture-Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, N.C., USDA Forest Service Research Paper SE-168, July, 1977.
- [91] Britting, Kenneth R. "Backward Integration of System Dynamics Models-A Useful Validation Test?" *Management Science*, special edition on "World Models," Spring, 1975.
- [92] Britting, Kenneth R., and John G. Trump. "The Parameter Sensitivity Issue in *Urban Dynamics*," in *Proceedings of Summer Computer Simulation Conferences*, Simulation Councils, Inc., P.O.Box 2228, La Jolla, CA 92037, Montreal, 1973.
- [93] Brookbanks, E., R.W. Coursey, and C.Lee. "System Dynamics: A New Approach to Planning Complex Systems," *Built Environment*, vol.2, no.6, pp.355-358, June, 1973.
- [94] Brown, Gordon S. "Engineering and Societal 'Software' ..A New Imperative." *Technology Review*, vol.75, no.3, pp.2-11, January, 1973.
- [95] Burnett, R.A., and P.J. Dionne. "GLOBE6: A Multi-region Interactive World Simulation." *Simulation*, vol.20, pp.192-197, June, 1973.
- [96] Burns, James R., and David W. Malone, Optimization Techniques Applied to the Forrester Model of the World, *IEEE Trans Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-4, no.2, pp.164-171, 1974.
- [97] Burns, James R., Error Analysis of Nonlinear Simulations: Applications to World Dynamics *IEEE Trans, Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-5, no.3, pp.331-340, 1975.
- [98] Choucri, Nazli, David Scott Ross, and Dennis L. Meadows, "Towards a Forecasting Model of Energy Policies: International Perspectives." *Journal of Peace Science*, Spring, 1976.
- [99] Clark, Thomas D., Jr., and William A. Shrode. "Public Utility Operation and Growth: A System Simulation Model." *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Miami, Florida, December 4-6, vol.2, pp.807-816, 1978.
- [100] Coyle, R. Geoff. "System Dynamics: An Approach to Policy Formulation." *Journal of Business Policy*, vol.3, no.3, pp.40-48, Spring, 1973.
- [101] Cuypers, J. G. M., and Onno Rademaker. "An Analysis of Forrester's *World Dynamics* Model." *Automatica*, vol.10, no.2, pp.195-201, 1974.
- [102] De Greene, Kenyon B. "Force Fields and Emergent Phenomena in Sociotechnical Macro-systems." *Behavioral Science*, vol.23, no.1, pp.1-14, 1978.
- [103] Donahue, Christian J. "A Hybrid Probabilistic System Dynamics Model of United States Agriculture," in *Proceedings of Summer Computer Simulation Conferences*, Simulation Councils, Inc., P.O.Box 2228, La Jolla, CA 92037 Washington, D. C., 1976.
- [104] Dorn, D. W., and R. C. Maninger. "Some Consequences of Reduced Food Supply Induced by Loss of Stratospheric Ozone," in *Proceedings of the Seventh Annual Pittsburgh Conference on Modeling and Simulation*, Pittsburgh, PA, April 26-28, 1976.
- [105] Duffy, Michael A., G.L. Eiden, and C. W. Hamilton. "General Aviation Dynamics." *Eighth Annual Pittsburgh Conference on Modeling and Simulation*, Pittsburgh, Pennsylvania, April 1977. Copies available from the authors at Battelle-Columbus Laboratories, Columbus, Ohio 43201.
- [106] Duffy, Michael. "The Dynamics of General Aviation Pilot Promotion Campaign." *Eleventh Annual Simulation Symposium*, Tampa, Florida, March 1978.
- [107] Dyer, M. I. "Process Studies Related to Grassland Ecosystem Research," in *Proceedings of Summer Computer Simulation Conferences*, Simulation Councils, Inc., P. O. Box 2228, La Jolla, CA 92037, Montreal, 1973.
- [108] Ford, Andrew. "Is Growth Really Necessary?" *Electric Light and Power*, pp.13-15, July, 1976.
- [109] Ford, Andrew. "Simulating the Impact of Regulatory Changes on Electric Utilities." *Simulation*, January, 1978.
- [110] Ford, Andrew and P. Gardiner. "A New Measure of Sensitivity for Social System Simulation Models." *IEEE Transactions on Systems*,

- Man and Cybernetics*, March, 1979.
- [111] Forrester, Jay W. "The Validity of System Dynamics: An Interchange." *Technology Review*, MIT, pp.2,3,72, July/August, 1976.
- [112] Gardiner, Peter and Andrew Ford. "Simulation and Evaluation: A Technology Merger for Policy Analysis in Complex Social Systems," in *Models in Metrics for Decision Makers*, Fritz Snapper, editor, Information Resources Press, Washington, D. C.
- [113] Gordon, Theodore J., and John G. Stover. "Using Perceptions and Data about the Future to Improve the Simulation of Complex Systems." *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 9, pp.191-221, 1976.
- [114] Honda Nakaji and I. Hayakawa, A Simulation model of district heating system, IFAC workshop on urban, regional and national planning: environmental aspects, pp.115~122, Kyoto, 1977.
- [115] 川上潤三, エネルギーモデル, オペレーションズ・リサーチ, vol.23, no.1, pp.4~6, 1978.
- [116] 小島崇弘, SDモデルへのフーリエ理論の応用, 東洋大学情報科学論集第3号, pp.31~37, 1979.
- [117] Krallmann, Hermann. "System Analysis Methods and their Limitations to Describe and to Forecast the Impact of the Technical Change." Naucni Skup, Technoloski Progres, Ljudske Slobode i Zastita Covjecove okoline, Sveska III, Serajevo 1977, S.66-S.76.
- [118] Lindquist, Mats G. "An Explanation of the Coming Stagnation of Information Search Services." *On-line Review*, vol. 1, no.2, pp.109-116, 1977.
- [119] Lindquist, Mats G. "Growth Dynamics of Information Search Services." *Journal of the American Society for Information Science*, vol. 29, no.2, pp.67-76, 1978.
- [120] Low, Gilbert W., and Nathaniel J. Mass. "Transfer Payments and the Phillips Curve." System Dynamics Group Memorandum D-3007. Cambridge, MA: System Dynamics Group (E40-253, MIT, 02139), 1979.
- [121] Lukaszewicz, Ryzard. "The Direct Form of Structural Models within System Dynamics." *Dynamica*, vol.2, no.2, Spring, 1976.
- [122] Mashayekhi, Ali N. "Economic Planning and Growth of Education in Developing Countries." *Simulation*, vol. 29, no.6, pp. 189-197, December, 1977.
- [123] Mass, Nathaniel J., and Peter M. Senge, Alternative Tests for the Selection of Model Variables, *IEEE Trans Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-8, no.6, pp.450-460, 1978.
- [124] 馬渡鎮夫, 山下宜哉, SD モデルのパラメータ感度分析法, 日本 OR学会1978年度秋季研究発表会アブストラクト集, 1978.
- [125] Meadows, Dennis L. "Alternatives to Growth: Searching for Images of Sustainable Futures." *World Future Society Bulletin*, vol.XI, no.4, July/August, 1977.
- [126] Morecroft, John D. W. "A Comparison of O. L. S. and Instrumental Variable Estimation of a Dynamic Growth Model." Available as System Dynamics Group Memorandum D-2729. Cambridge, MA: System Dynamics Group (E40-253, M. I. T., 02139), October, 1977.
- [127] Pfafflin, James R., and Robert H. Tull. "Dynamics of Heating and Cooling Responses of Controlled Environmental Spaces." *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. IA-12, no.5, pp.505-507, September/October, 1976.
- [128] Picardi, Anthony C., and William W. Seifert. "A Tragedy of the Commons in the Sahel." *Technology Review*, vol. 78, no.6, May, 1976.
- [129] Randers, Jorgen. "How to be a Useful Builder of Simulation Models." *Current Topics in Cybernetics and Systems*, edited by J. Rose, New York: Springer, 1978.
- [130] Roberts, Nancy. "Computer Gaming: A Strategy for Increasing Students' Sense of Control over their Futures." *Dynamica*, vol.4, part 2, Spring, 1978, pp.52-61.
- [131] Ruloff, Dieter. "The Dynamics of Conflict and Cooperation Between Nations: A Mathematical Model and Some Results." *Journal of Peace Research*, vol.2, pp. 109-121, 1975.
- [132] Ruloff, Dieter. *Konfliktlösung durch Vermittlung: Computersimulation zwischenstaatlicher Krisen/Conflict Resolution through Mediation: A Computer Simulation of Inter-State Crisis*. Birk-

- hauser: Verlag, Basel und Stuttgart.
- [133] Sahin, Kenan E., *System Dynamics Models: Some Obscurities*, *IEEE Trans, Syst., Man, Cyben.*, vol. SMC-9, no.2, pp.91-93, 1979.
- [134] Sahin, Kenan E., Member, IEEE, Equivalence of Markov Models to a Class of System Dynamics Models, *IEEE Trans Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-9, no. 7, pp. 398-402, 1979.
- [135] Sakai, Hitoshi, T. Mutoh and C. Watanabe, An analysis model of the developable value of shipment of a regional manufacturing industry, IFAC work shop on urban, regional and national planning: environmental aspects, pp. 191~205, Kyoto, 1977.
- [136] Sauter, George D. "The Energy Dynamics of an Expanding Power Generating System." *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. NS-23, no.1, p.60, 1976.
- [137] Schwartz, Ingo A. "System Dynamics Modeling and Levels of Aggregation." *Modeling and Simulation*, vol. 9, Instrument Society of America, Pittsburgh, 1978.
- [138] Senge, Peter M. "Some Issues in Evaluating the Validity of Social System Models," in *Proceedings of Summer Computer Simulation Conferences*, Simulation Councils, Inc., P. O. Box 2228, La Jolla, CA 92037, Montreal, 1973.
- [139] Senge, Peter M. and Nathaniel J. Mass. "Model Behavior Tests for the Specification of System Models." Available as System Dynamics Group Memorandum D-2466-1. Cambridge, MA: System Dynamics Group (E40-253, MIT, 02139), 1976.
- [140] Senge, Peter M. "Statistical Estimation of Feedback Models," in *Simulation*, vol.28, no.6, pp.177-184, June, 1977.
- [141] Sharp, J.A. "System Dynamics Applications to Industrial and Other Systems." *Operations Research Quarterly*, vol. 28, 3, i, pp. 489-504, 1977.
- [142] 柴田隆史, システムダイナミックスにおける指数遅れの平均遅れ時間と解答時間による流出フローの一般表現式について, 修道商学, 第19巻, 第1号, 広島修道大学, pp.1~19, 1978.
- [143] Stephenson, Edwad E. "Assessing Operational Policies." *OMEGA: The International Journal of Management Science*, vol.4, no.4, pp. 437-446, 1967.
- [144] Thissen, W. "Investigations into the WORLD3 Model: The Capital and Resource Subsystem." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-6, no. 7, pp. 455-466, 1976.
- [145] Thissen, W. "Investigations into the World3 Model: Overall Model Behavior and Policy Conclusions." In *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-8, March, 1978.
- [146] Thissen, W. "Investigations into the World 3 Model: Lessons for Understanding Complicated Models," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-8, March, 1978.
- [147] Thissen, W. "Population in the Club of Rome's World3 Model," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-8, March, 1978.
- [148] Thissen, W. and C. de Mol. "The Agricultural and Persistent Pollution Subsystem in World3." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-8, March, 1978.
- [149] 内嶋善兵衛, 農業気象災害について, オペレーションズ・リサーチ, vol.24, no.9, pp.541~548, 1979.
- [150] Vanderwerf, Pieter. "The Regional Economic Impact of Wood-Fired Power." DSD #90, Dartmouth System Dynamics Group, Thayer School of Engineering, Dartmouth College, Hanover, NH, 1977.
- [151] Wadhwa, L.C. "An Expository Price Dynamics Model of Agricultural Products." *Proceedings International Conference on Rural Development Technology: An Integrated Approach*, AIT Bangkok, June, 1977, pp.405-419.
- [152] Weinblatt, Margaret Didi. "System Dynamics and the Limits to Growth: A Critique." *International and Comparative Public Policy*, vol.1, no.2, pp.113-147, Winter-Spring, 1977.