

組織のシミュレーションの可能性

高橋伸夫

東京大学

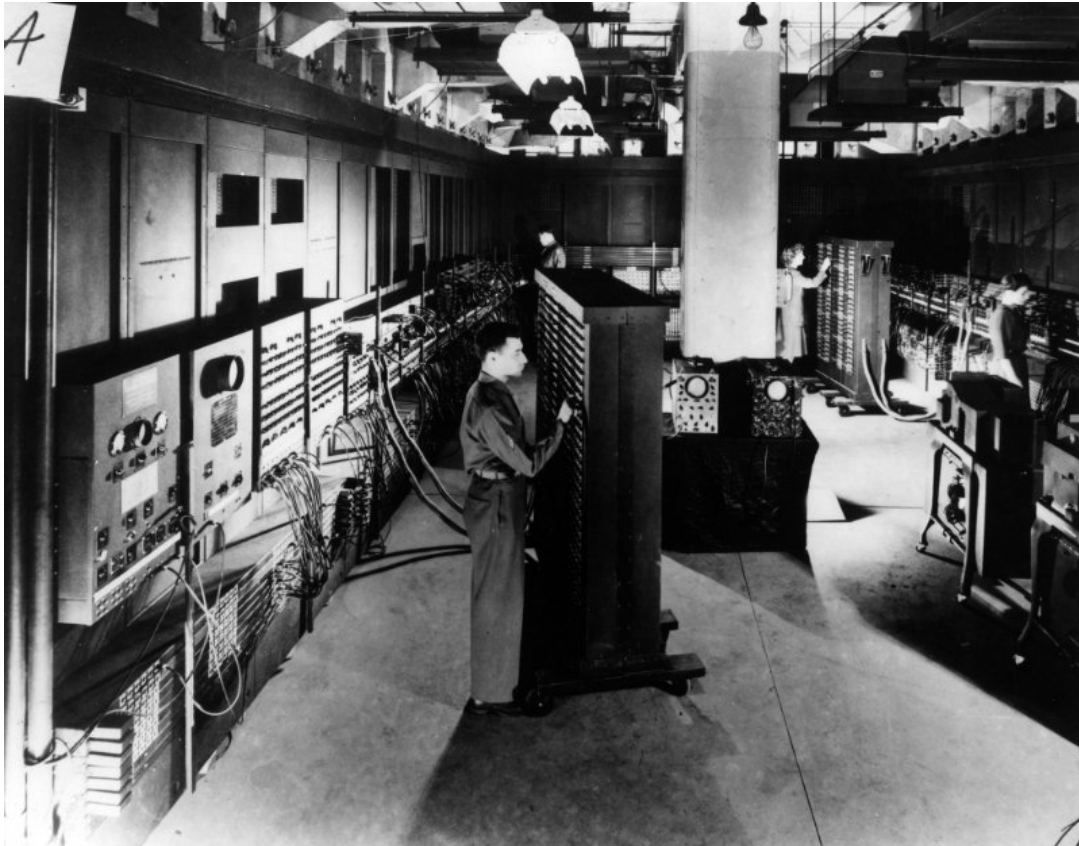
<https://www.bizsci.net/>

2020年8月30日

高橋伸夫 (2020) 「日本における組織のシミュレーション研究」『赤門マネジメント・レビュー』19(3), 77-98.
<https://doi.org/10.14955/amr.0200515a>

ENIAC

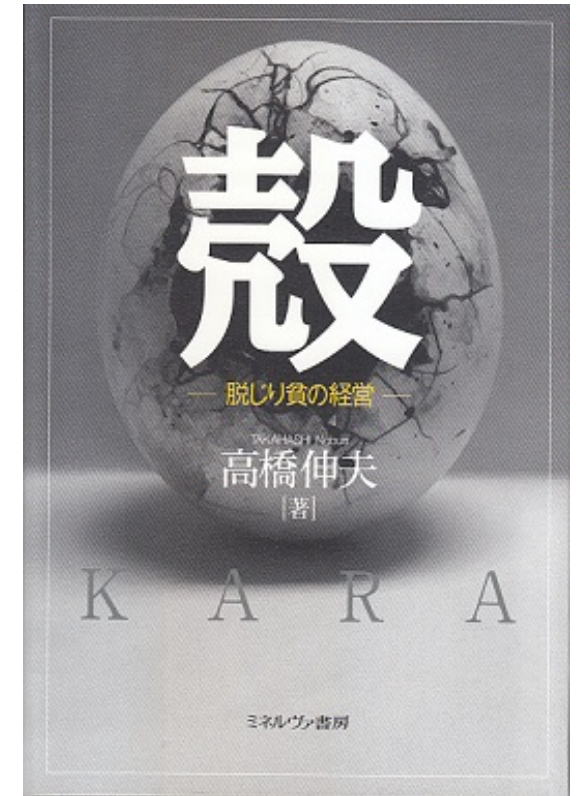
(Electronic Numerical Integrator and Computer)



- 世界初の汎用(=プログラム可能)デジタル電子計算機
- 戦争中の米国で陸軍から受けたプロジェクトで作られたもので、たった1台しか作られなかった。米国ペンシルベニア州フィラデルフィアにあるペンシルベニア大学ムーア・スクールで、大学院生に毛の生えたような20代の若者たちが中心になって、受注からたった2年半で開発し完成させた。
- モークリー(John W. Mauchly; 1907-1980)
- エッカート(John Presper Eckert, Jr.; 1919-1995)
- 1943年4月陸軍がペンシルベニア大学と開発契約締結～1946年2月完成式
- 火砲の射撃表(firing tables)を作る膨大な計算作業のために発注→1945年後半に「ロスアラモス問題」(当時開発中の水爆の爆縮時の平面波の計算問題)で試運転
- 重さ30トン; 幅0.6m×奥行0.6m×高さ2.4mのユニット40台からなり、U字型に15mずつの両サイドにそれぞれ16台、真ん中の9mに8台配置され、消防ホースほどの黒く重いケーブルで接続されていた。ENIAC全体で167㎡(約50坪つまり100畳)のスペース。
- プログラム内蔵式コンピュータではなかったし、そもそも2進法ではなく10進法を採用していた(フリップフロップを10個つなげたアキュムレータ)。

コンピュータは最初から シミュレーションのための機械だった

- 世界初の汎用デジタル電子計算機ENIACは、第二次世界大戦中、次々と開発・投入される新しい火砲の弾道計算をさせる目的で1943年から開発が始められたものだった(高橋, 2011, 2013, ch.5)。
- ENIACの完成は終戦に間に合わなかったが、1946年2月の完成式の前に、試験として最初にENIACで行った計算は、ロスアラモス科学研究所で当時開発中の水爆の爆縮時の平面波の計算問題だった(高橋, 2011, 2013, ch.6)。
- いずれも、実際に砲弾を撃ったり、水爆を爆発させたりという実験をせずに、代わりにコンピュータで計算して済ませるわけで、その意味では、コンピュータは最初からシミュレーション(simulation)のための機械だったことになる。
- コンピュータは、プログラムに書いてある変数間の関係を表した数式を次々と計算していく。仮に、それらの数式が何らかのシステムの挙動を表しているならば、コンピュータはそのシステムの挙動を模擬していることになる。



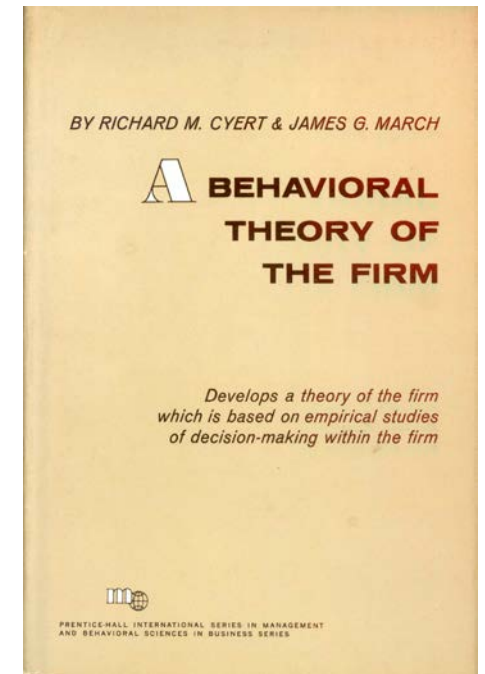
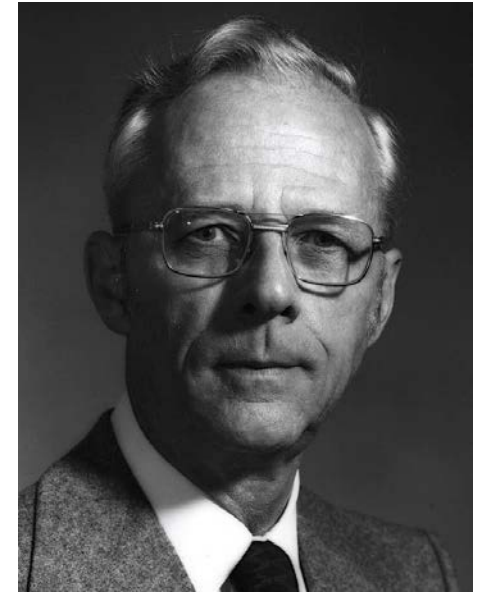
高橋伸夫 (2013) 『殻』 ミネルヴァ書房.

高橋伸夫 (2011) 「殻: (4)世界初の汎用デジタル電子計算機ENIAC」 『赤門マネジメント・レビュー』 10(8), 557-584.

<https://doi.org/10.14955/amr.100801>

企業経営のシミュレーション研究

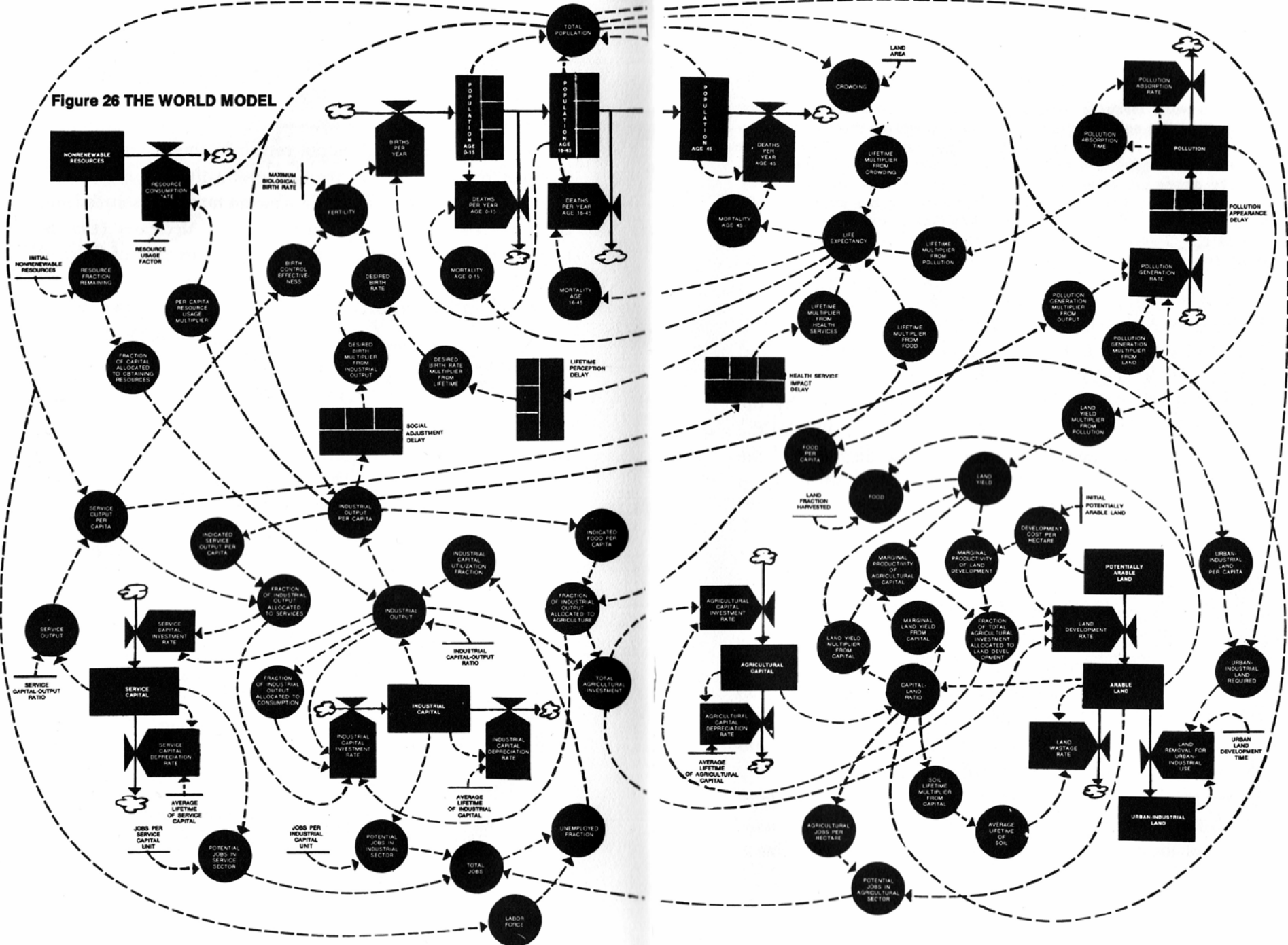
- 戦争中からフライト・シミュレータの開発にかかわり、その副産物としてコンピュータの磁気コア・メモリの開発で有名になった米国マサチューセッツ工科大学(MIT)のフォレスター(Jay Wright Forrester; 1918-2016)は、1956年にMIT内でスローン・スクールに転身した。そこでフォレスターとそのグループは、(正負の)フィードバック・ループを組み込んだシミュレーション・モデルをコンピュータで走らせ、当初はオペレーションズ・リサーチ同様に企業経営への適用を標榜して『インダストリアル・ダイナミクス』(Forrester, 1961)と呼んだ。
- 同じ頃、カーネギー工科大学(1965年にカーネギー・メロン大学に改称)でも、同様の企業行動のシミュレーション研究が行われており、1963年に『企業の行動理論』(Cyert & March, 1963)として出版され、近代組織論の代表的文献の一つで、近年、再評価もされている(Gavetti, Levinthal, & Ocasio, 2007)。
- どちらも、広い意味での企業行動を数式で表し、それを時間経過とともに計算して、横軸に時間、縦軸に主要変数をとったグラフで曲線ないしは折れ線(ライン・プリンタで出力すれば、元が何でも必然的に折れ線になってしまう)で表現していた。

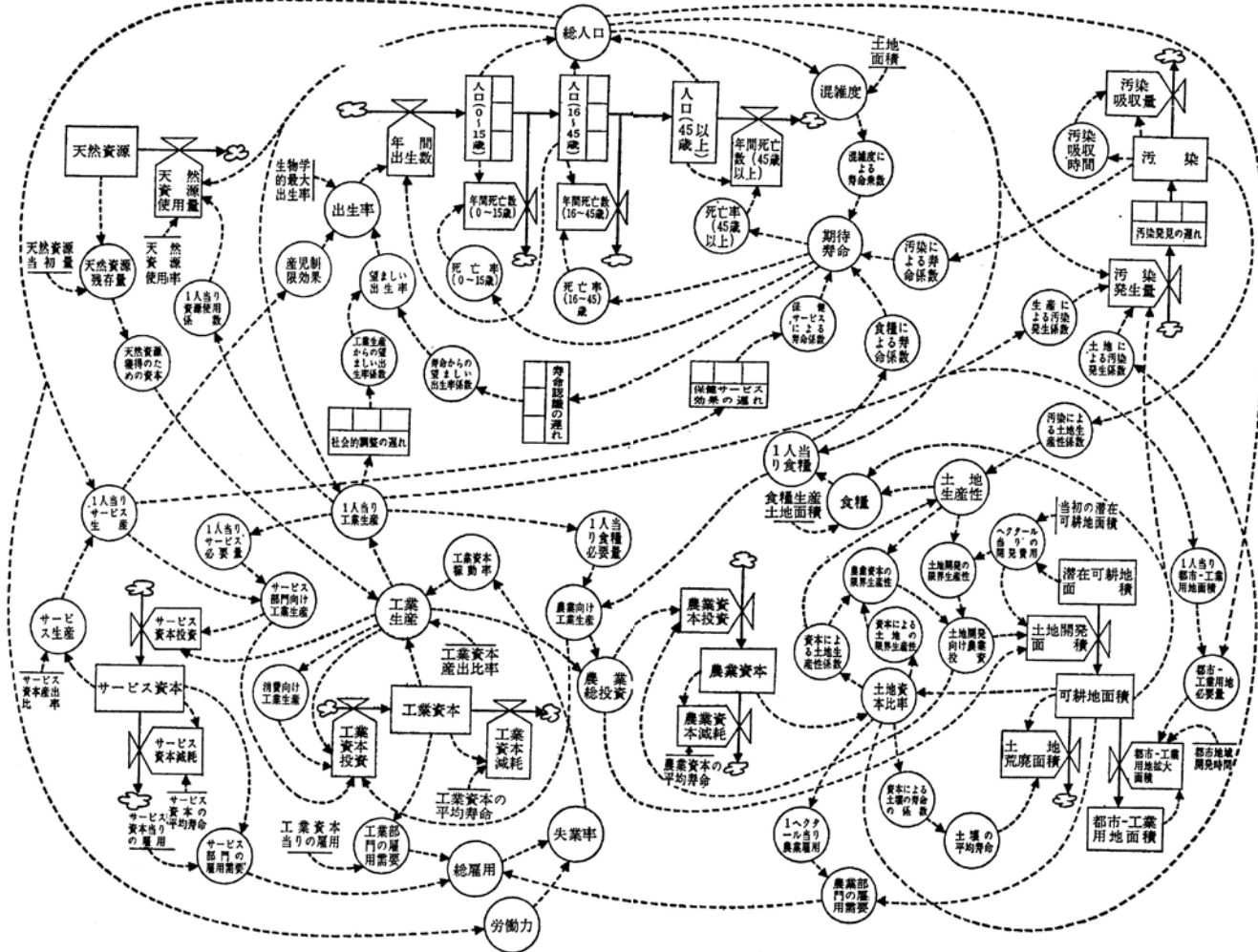


システム・ダイナミクス

- インダストリアル・ダイナミクスは、ダイナモ(DYNAMO)と呼ばれる専用コンパイラ(機械語に翻訳するプログラム)を使っていたが、その後、適用対象は都市問題や地球規模の資源問題などへとすぐに広がり、システム・ダイナミクス(System Dynamics)略してSDと呼ばれるようになった。
- 当初イタリアに本部を置いていた民間のシンクタンク「ローマ・クラブ」(Club of Rome)が、このMITプロジェクト・チーム(チーム自体にはForresterは入っていなかった)に依頼したSDのシミュレーションの分析結果が、第1回報告書『成長の限界』として1972年に発表された(Meadows, Meadows, Randers, & Behrens, 1972)。今のまま、人口増加や環境破壊が続けば、資源は枯渇し、環境は悪化し、100年以内に人類の成長は限界に達すると警鐘を鳴らし、世界的に注目された。30カ国語以上に訳され、日本語版(1972年)は半世紀近くたっても増刷されている(手元にあるのは2016年の第70刷)。
- しかし、世界モデルは、因果関係が複雑すぎて、何がどこに効いているのかもよくわからない。ひよっとすると、ごくつまらない原因で事態が決定的に左右されているかもしれないが、それもわからない。これだけ複雑になると、もはやブラックボックス同然である。事象を理解するという観点からすれば、重要なパラメータが何かを明らかにしないと、説得力がない。
- それまでのSDの30年を振り返り「これまであまり普及しなかった」(宮川・小林, 1988, p.211)。
- 実際、SDもCyert and March (1963)的なシミュレーションも、経営・組織の分野では、(少なくとも日本では)ほとんど普及しなかった。SD自体も『成長の限界』が限界でピークだった。

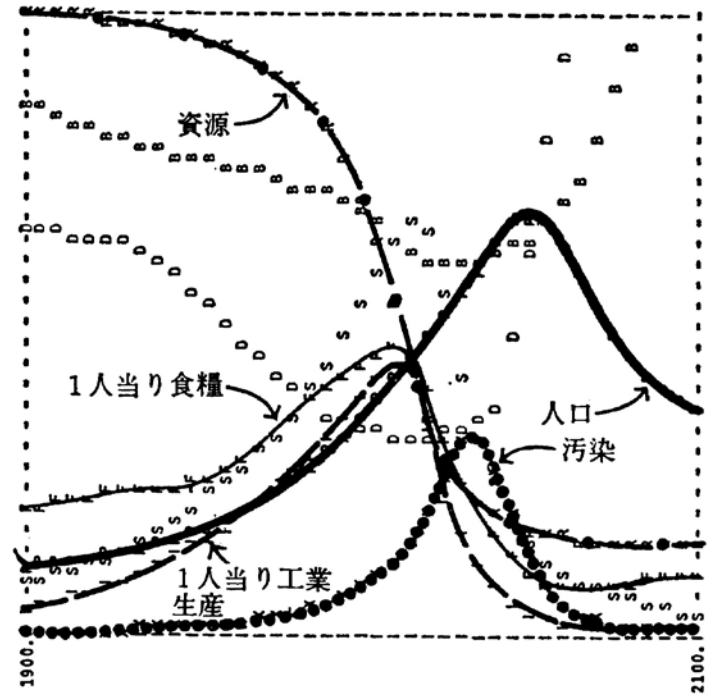
Figure 26 THE WORLD MODEL





世界モデルの全体が、システム・ダイナミクスの正式な用語を用いた流れ図によって示されている。レベル、あるいは直接はかれる物理量は長方形 \square で示され、このレベルに影響するレートは非(バルブ) \square によって示される。レートの方程式に作用する補助変数は円 \circ で示され、時間遅れは長方形内の区画 \square によってあらわされる。人口、財貨、貨幣等の実際の流れは実線の矢印 \rightarrow で、因果関係は点線の矢印 \rightarrow で示される。雲形 ☁ はモデルの行動に対して重要でないような発生源や終端をあらわしている。

図 26 世界モデル



「標準的」な世界モデル計算においては、世界システムの発展を支配してきた物理的、経済的、社会的関係に大きな変化はないと仮定している。ここにするされたすべての変数は、1900年から1970年までの実際の数値に従っている。食糧、工業生産および人口は幾何級数的に成長し、ついには急速に減少する資源が工業の成長を低下させるにいたる。システムに内在する遅れのために、人口と汚染は工業化の頂点に達したあと、しばらく増加し続ける。人口の増加は、食糧と医療サービスの減少による死亡率の上昇によって、最終的に停止する。

図 35 世界モデルの標準計算

ゴミ箱モデル: 非常識な現象の存在を示唆する

- 私は、1970年代後半は大学生、1980年代前半は大学院生で、当時としては珍しく、メインフレーム・コンピュータを日常的に使っていたが、SDのようなシミュレーションは、学生から見ても机上の空論に思え、自らやってみようとは正直思わなかった。シミュレーション・モデルは、シミュレーションとは別の理由で私を惹きつけた。

1982年5月、筆者が大学院生(D1)のとき、松山商科大学での組織学会研究発表大会で初めて学会報告を行い、学会デビューを果たした。自分の報告の前日に、遠田雄志「組織の意思決定: J.G.マーチのゴミ箱モデルを中心に」を拝聴して、ゴミ箱モデルの存在を知った。J. G. Marchといえば『企業の行動理論』の編者の一人でもあり、面白そうだった私は、学会から戻るとすぐさま、紹介されていたCohen, March, and Olsen (1972)を読んでみた。奇しくもローマ・クラブの『成長の限界』と同じ1972年に出版されていたが、1970年代といえば経営学はコンティンジェンシー理論の嵐が吹き荒れていた時代で、ゴミ箱モデルはそんなコンティンジェンシー理論一色に染まったかのような学界の片隅にひっそりと咲いていたのだった。とはいえ、Cohen, March, and Olsen (1972)で公開されていたシミュレーションのプログラムは複雑で、初期設定も恣意的に思えた。筆者自身でやっても何か新しい知見が得られるとは思えなかった(すべてが初期設定に帰されると感じた)。当時筆者はシミュレーションを自分でやる気は毛頭なかったのだ。では何に惹かれたのか。実は、自分で調査して、本当にこんな面白い(一見、非常識な)現象があるのか、その存在を確かめてみたいと思ったのだ。

高橋伸夫 (2020) 「日本における組織のシミュレーション研究」『赤門マネジメント・レビュー』19(3), 77-98. <https://doi.org/10.14955/amr.0200515a>

Cohen, M. D., March, J. G., & Olsen, J. P. (1972). A garbage can model of organizational choice. *Administrative Science Quarterly*, 17(1), 1-25.

ゴミ箱モデルの調査の壁: 構想10年?

- 当時、“decision making by flight” は「飛ばしによる決定」と直訳されていたが、この直訳では意味不明。実際、モデル上も、人間が問題を飛ばしているのではなく、問題の方が自らどこかに飛んで行ってしまいうまで、人間の方は、台風上陸時のように、嵐の過ぎ去るのをじっと待っているだけ。
- そんな “decision making by flight” の日本語訳として「やり過ぎ」を思いつくまでに、実に5年もかかった。
質問「指示が出されても、やり過ぎしているうちに、立ち消えになることがありますか」。
- ところが、今度は企業の現場から猛反発をくらった。こんな質問に「はい」と答える奴がいたら、社内で大問題になるというのである。それでもめげずに方々で拝み倒して、ようやく調査にこぎつけたのが1991年。調査結果を急いで論文(高橋, 1992)にまとめて『組織科学』に掲載されるまで、ちょうど10年かかった。

その後も調査は継続して、1991年～2000年に計40社約8500人のホワイトカラーを調査したが、先ほどの質問には、53%の人が素直に「はい」と答えていて(高橋, 2015, ch.4)、やや拍子抜けした。しかし、こうした一連の調査は、ビジネス・パースンの興味と共感と呼び、私も一般向けに『できる社員は「やり過ぎ」』(高橋, 1996)を書いて、啓蒙に努めた。



ゴミ箱モデルの四つの基本的概念

選択機会	➤ 組織が「決定」と呼べる行動を生み出すことを期待されている機会
問題	➤ 決定が行われたときでも、問題は解決されないこともある➡ ➤ 問題がなくても、選択機会が完結する際には決定が行われたことになる
参加者	➤ 色々な選択機会に入ったり出たりする ➤ ある数の参加者が存在し、各参加者は問題解決に利用可能なある量の潜在的エネルギーを各期ただ一つの選択機会に投入すると仮定
解	➤ ほとんど問題とは無関係に、誰かが生みだしたもの ➤ 解がわかって、はじめて問題が何であるかがわかる ➤ 解係数によって参加者の供給した潜在的エネルギーが每期、割引かれ、効果的エネルギーとして問題解決に貢献すると仮定

エネルギー加法性の仮定: 選択機会が決定に至るためには、各選択機会は、それに投入されている問題のエネルギー必要量の総計と同量の効果的エネルギーを必要とする。

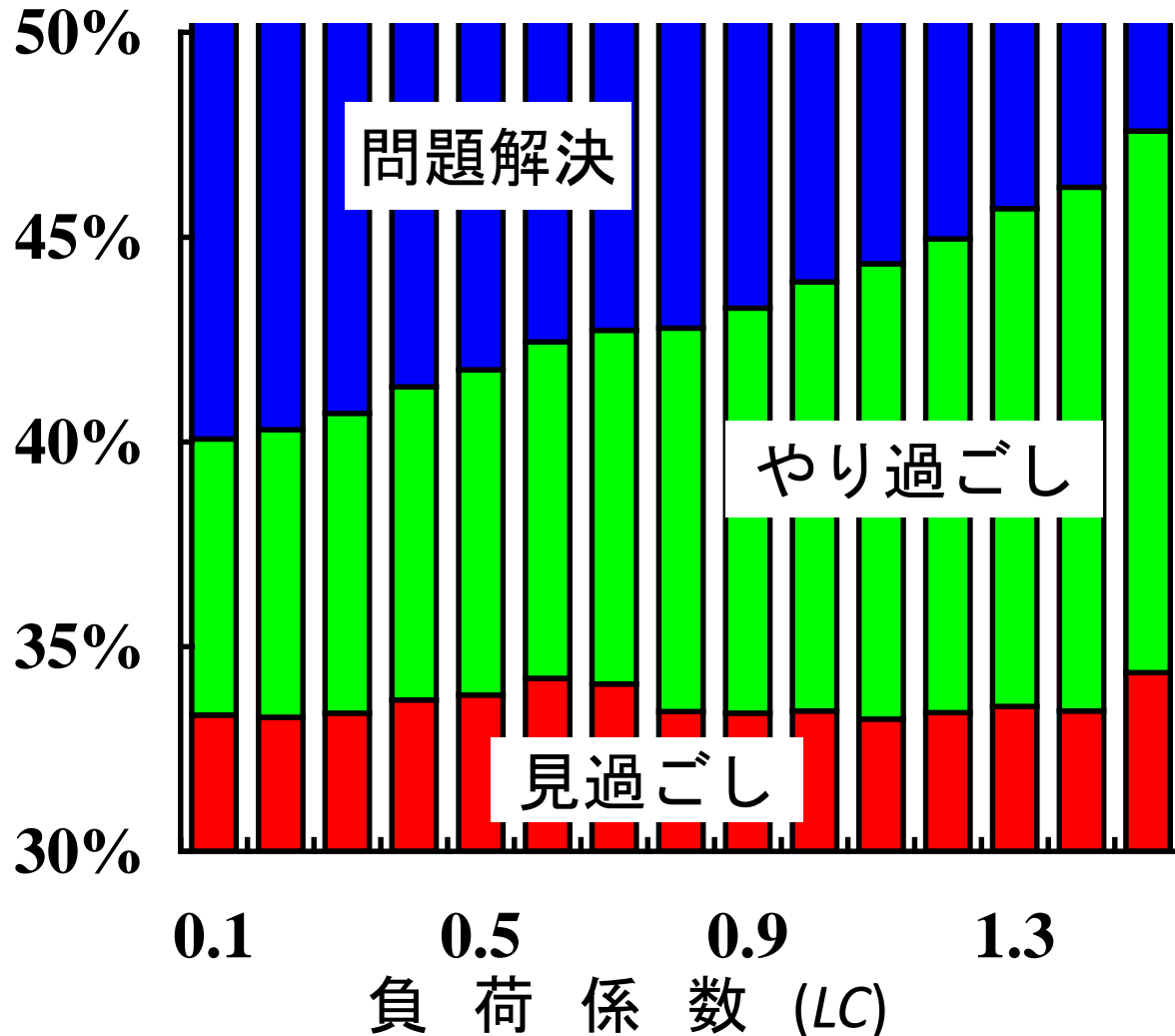
問題の解決と決定とは別物

三つの意思決定タイプ

問題解決	選択機会は、ある期間、問題を抱えており、その間、参加者によってエネルギーが投入される(すなわち、問題を解く作業が行われる)。問題解決に必要なエネルギー量が投入されたところで、問題は解決され、決定が行われる。
やり過ぎ	問題のエネルギー必要量が大きいと、選択機会に問題が投入されたままで、解決されずにいることになる。しかし、もし問題がその選択機会から出ていってしまえば、エネルギー必要量が減り、決定が可能になるかもしれない。
見過ごし	新しく選択機会が出現したときに、その選択機会に問題が投入されないうちに、すぐに参加者によってエネルギーが投入されると決定が行われる。

問題の負荷と決定のタイプ (解系数=1.00)

構成比率(%)



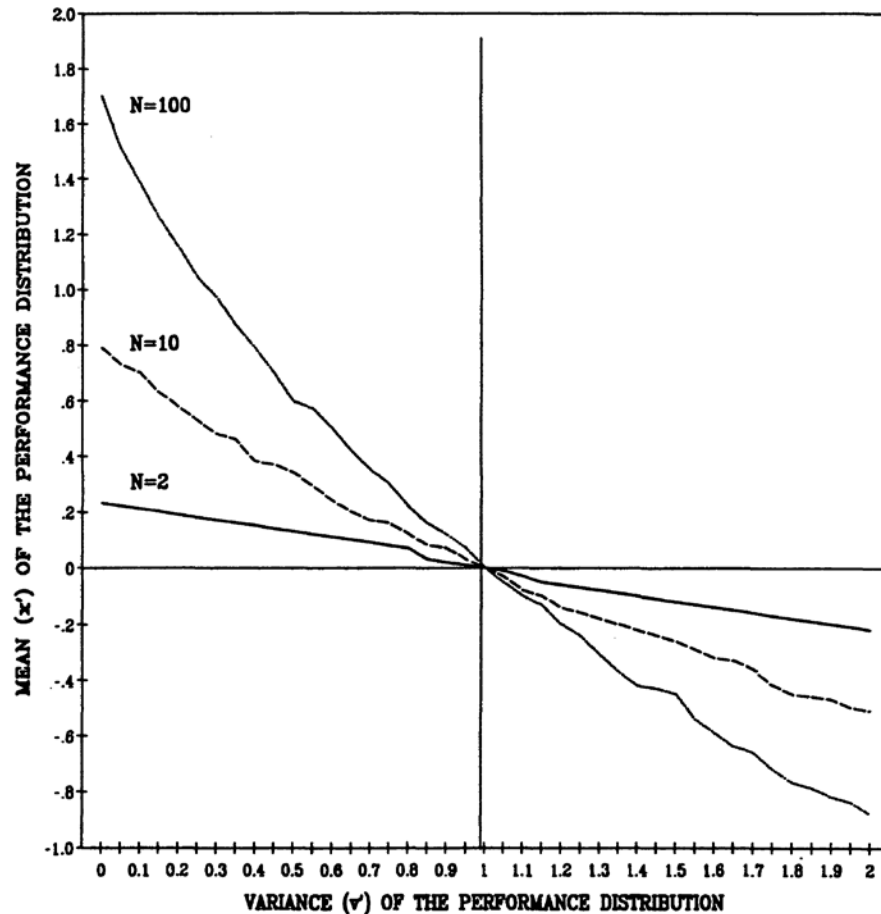
Single Garbage Can Program (SGCP)

- i. 選択機会は一つ(single garbage can)。
- ii. 各期における参加者の出現、退出を参加者からのそれぞれ正、負の潜在的エネルギー(-0.5以上0.5未満の一樣乱数)で表す。
- iii. 各期における問題の出現、退出をそれぞれ正、負のエネルギー必要量(-0.5以上0.5未満の一樣乱数)で表す。

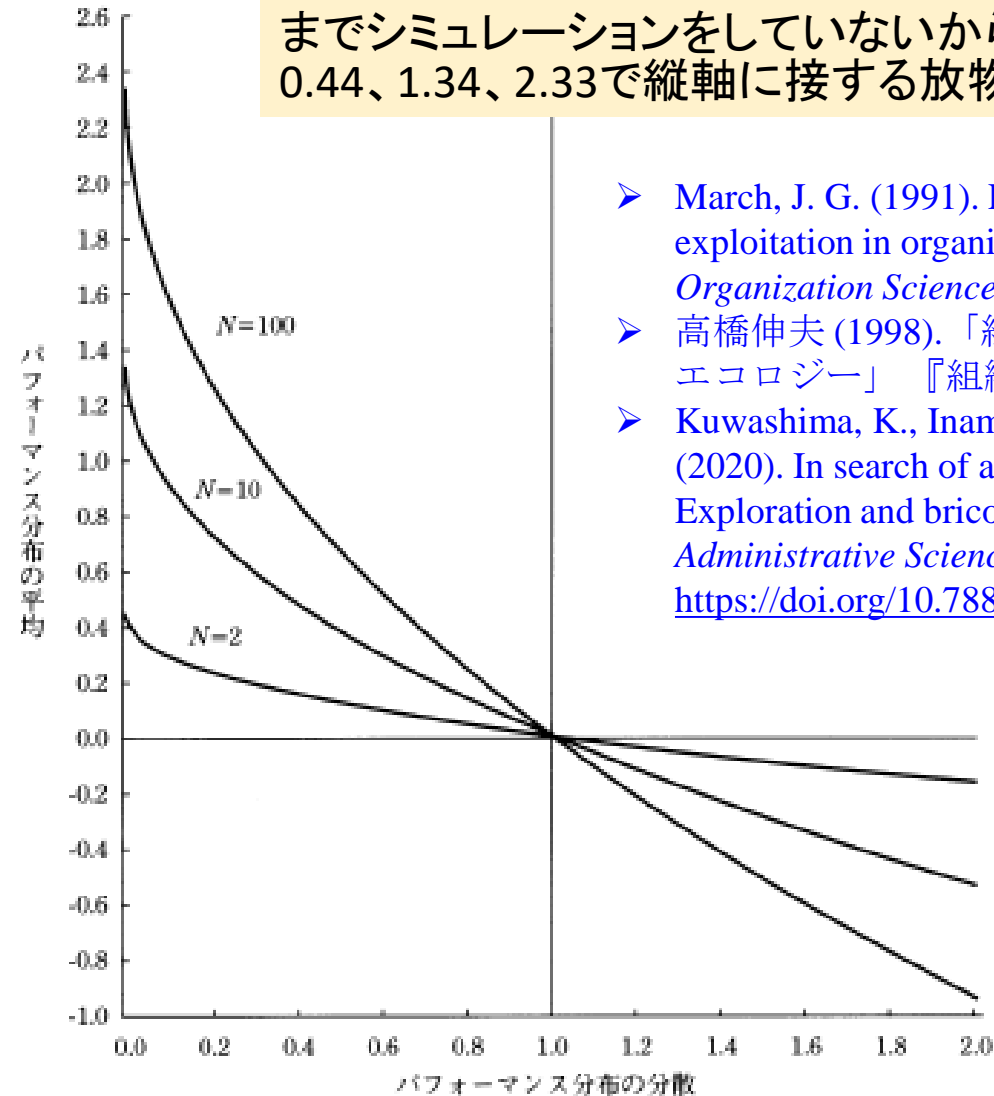
そもそもSGCPは、調査結果を説明するために、ゴミ箱を1つに限定してしまえば、モデルが簡単になると思いついて、調査の後になって作成したプログラムだった。

Takahashi, Nobuo (1997) A single garbage can model and the degree of anarchy in Japanese firms. *Human Relations*, 50(1), 91-108. Figure 2

シミュレーション にできること(1)

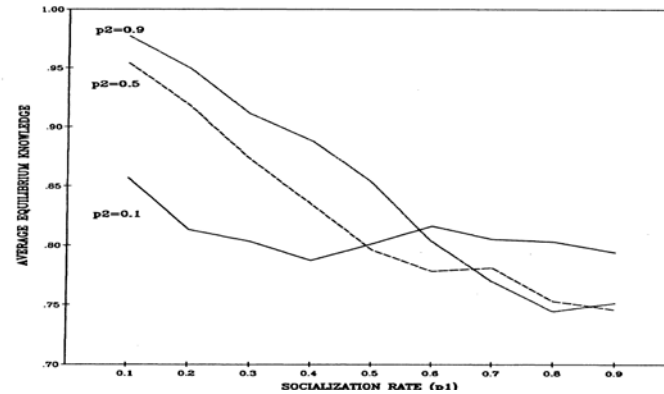


March (1991)の論文の後半に登場する「首位獲得競争モデル」は数学的に解析可能なのに、マーチはシミュレーションをしていた。3本の曲線は、縦軸と約0.2、約0.8、約1.8で交わりそうに見える。これは縦軸の際までシミュレーションをしていないからで、本当は、0.44、1.34、2.33で縦軸に接する放物線だった。

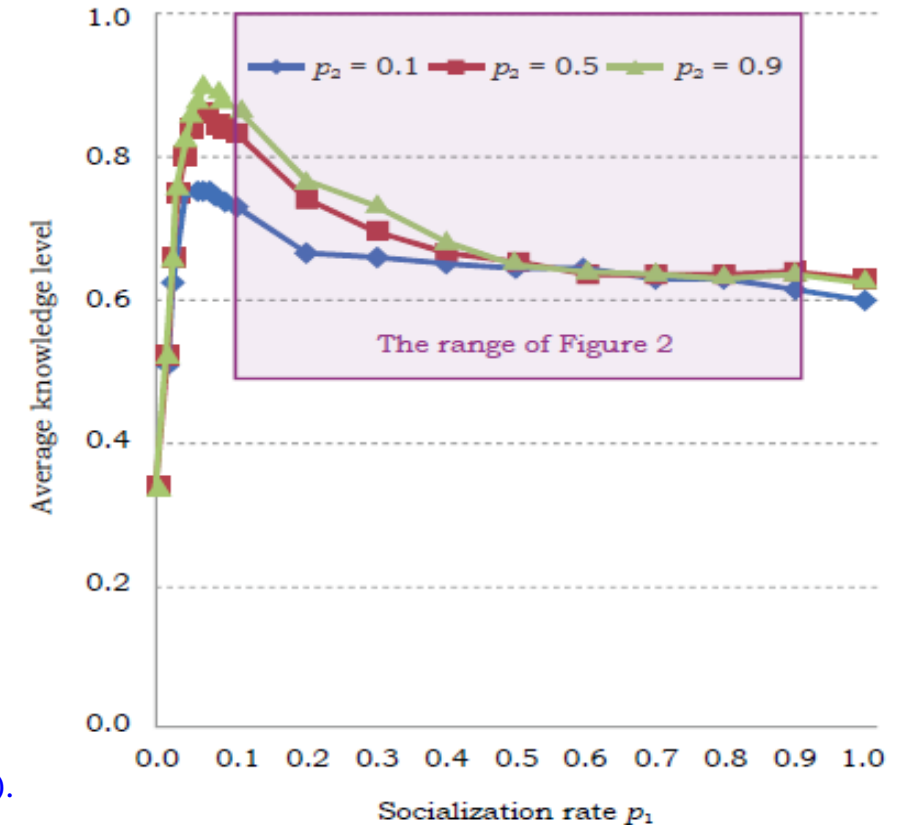
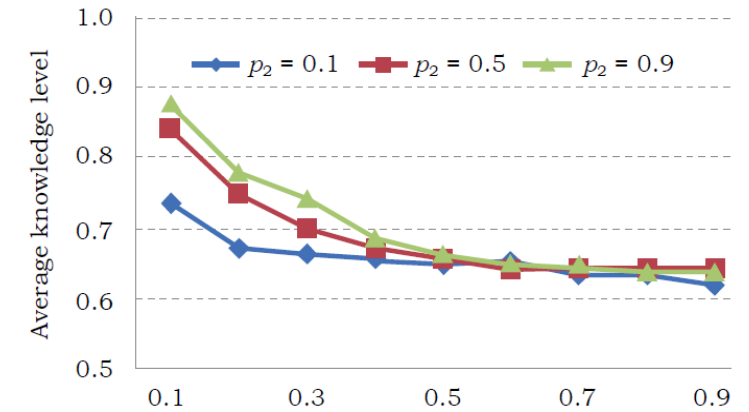


- March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science*, 2(1), 71-87.
- 高橋伸夫 (1998). 「組織ルーチンと組織内エコロジー」 『組織科学』 32(2), 54-77.
- Kuwashima, K., Inamizu, N., & Takahashi, N. (2020). In search of ambidexterity: Exploration and bricolage. *Annals of Business Administrative Science*, 19(4), 127-142. <https://doi.org/10.7880/abas.0200621a>

シミュレーション にできること(2)



- March (1991)のFigure 1(↗)は、いかにも単調減少関数のグラフのように見える(Mitomi & Takahashi (2015)のFigure 2 (↗)でも同様)ことから、「より遅い社会化 (より低い p_1)の方が、より速い社会化よりも均衡でより高い知識レベルになる」(March, 1991, p.75)と結論する。
- 実は曲線は社会化率 $p_1=0.1$ から始まっていて、それより左側の曲線が欠落しているが、実は、**社会化率 $p_1=0$ のときは、ロックインし、知識レベルは理論値で1/3となる。**
- そこで、欠落していた部分も補うと、Mitomi and Takahashi (2015)のFigure 3(⇒)のように、実際には、欠落していた0と0.1の間、社会化率 p_1 が0.06~0.07にピークがあった。
- 本当の結論は、知識レベルだけを考えても最適な社会化率が存在するということ。



Mitomi, Y., & Takahashi, N. (2015). A missing piece of mutual learning model of March (1991). *Annals of Business Administrative Science*, 14(1), 35-51. <https://doi.org/10.7880/abas.14.35>

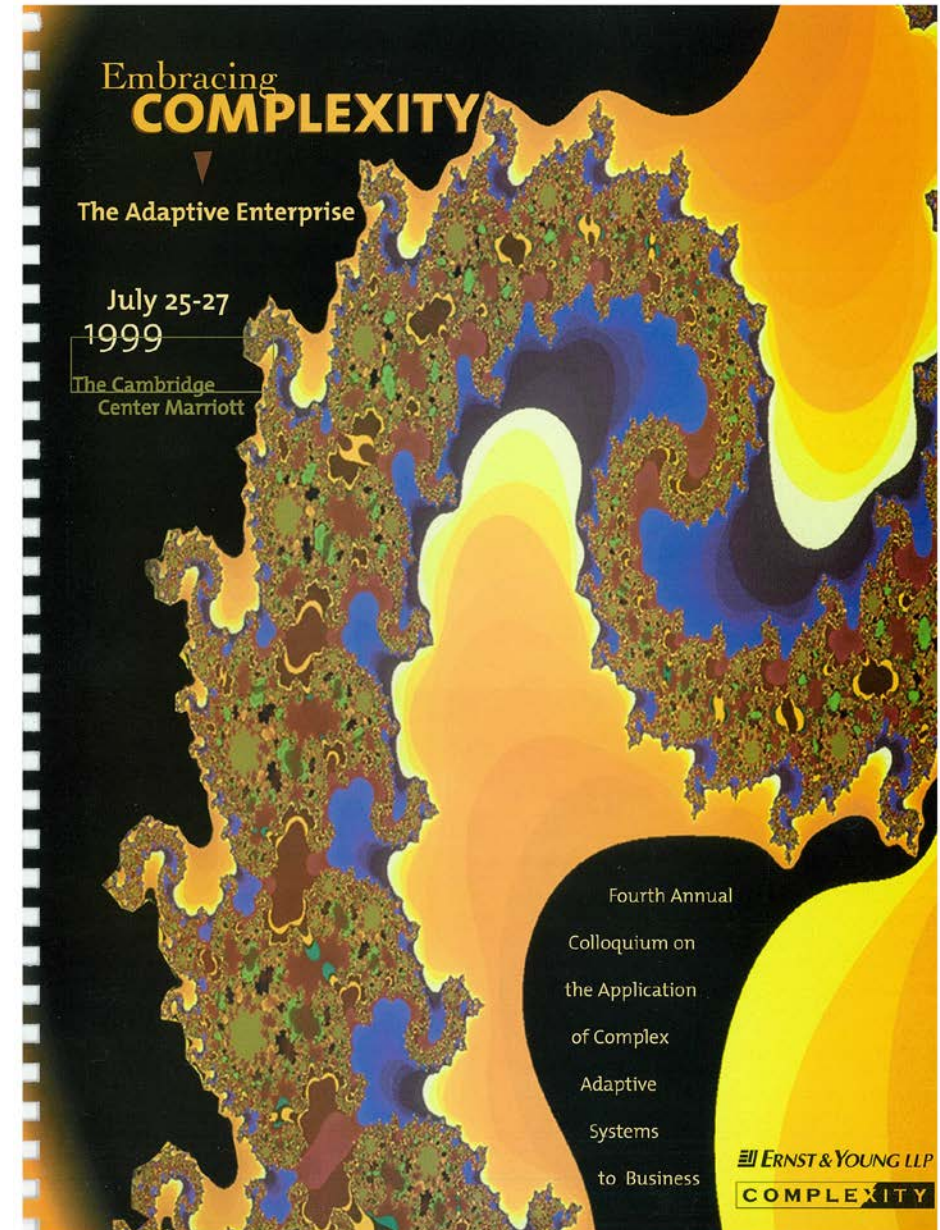
シミュレーションにできること(3)

- シミュレーション・モデル上の社会化率0.06~0.07が現実的にありえないほど低い値なのか、それとも社会化率としては現実的にはありふれた値なのかは、シミュレーションからは決して出てこない。これがシミュレーション研究の限界なのである。
- 言い換えれば、シミュレーションから出てくる予想は、実際の調査データで裏付けられない限りは、どこまでいっても机上の空論に過ぎない。シミュレーション・モデルで設定されるパラメータの値が現実的なものであると調査データで裏付けられなければ、そこから導き出されるインプリケーションは、実際にはありえないただの妄想にすぎなくなる。要するに、シミュレーションだけで何かを主張するのは無理なのだ。

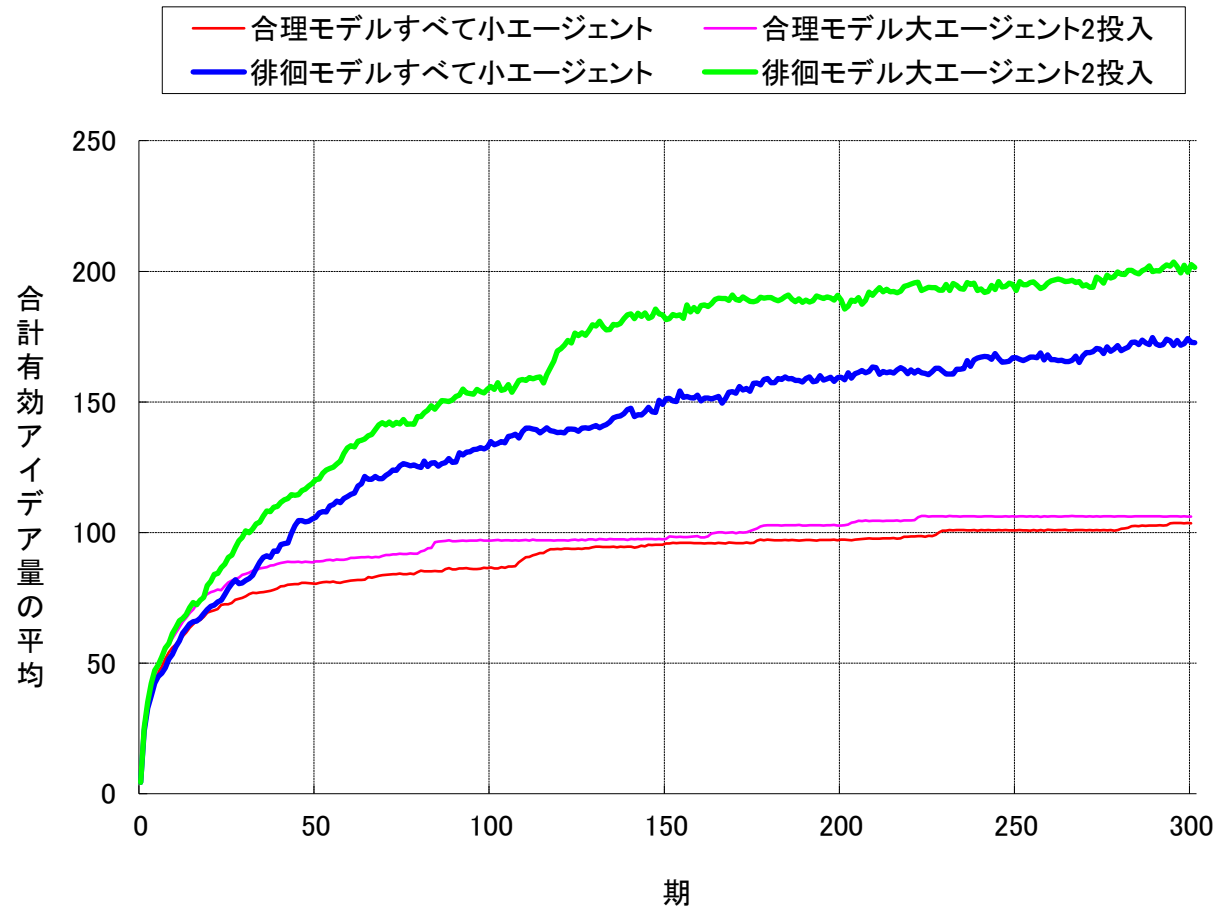
マルチエージェント・シミュレーション

- ▶ **マルチエージェント・シミュレーション**(multi-agent simulation)、別名**エージェント・ベース・シミュレーション**(agent-based simulation)・・・複雑系(complexity)の分野で、遺伝的アルゴリズムやカオス理論と並んで1990年代に注目を集めるようになった(e.g., Epstein & Axtell, 1996)
- ▶ マルチエージェント・シミュレーションでは、複数の「エージェント」が、それぞれのルールに基づいてコンピュータ上の空間で行動する。その何が面白いかというと、各エージェントのルール自体は簡単なものでも、多数のエージェントが互いに影響を与え合いながら行動すれば、個別エージェントの行動を積み上げた全体では、予測もできなかったような複雑な動きをするようになる。そこが面白い。要するに単純な理論・モデルで複雑な現象を説明した気になれるところが研究者たちの心をくすぐった。
- ▶ マルチエージェント型のシミュレーションに使用されてきたソフトウェアは、Mathematicaのような汎用の計算ソフトだけではなく、米国サンタフェ研究所(Santa Fe Institute)のSwarmのような専用のシミュレータもあった。その専用シミュレータの一角に食い込もうとしたのが構造計画研究所のマルチエージェント・シミュレータだった。
- ▶ そのプロトタイプは、当初はMAS(マルチエージェント・シミュレータ)、少ししてKK-MAS (KKは「構造計画」研究所の意味だと理解している)と呼ばれていたが、2006年春にアーティソック(artisoc; 人工社会artificial societiesからの合成語)としてリリースされる。

- その過程で、何人もの研究者がリード・ユーザーとして関与することになるのだが、中心になっていたのは東京大学教養学部の山影進研究室のグループで、一連の研究成果(e.g., 山影・服部, 2002)やテキスト(山影, 2007)の形でも結実する。
- 筆者もリード・ユーザーの一人だったが、いかんせん複雑系に懐疑的だった。そんな筆者に、構造計画研究所の服部正太は米国で開催される複雑系のセミナーへの参加を強く勧めた。
- 半分仕方なく、1999年7月下旬、製薬のR&Dが専門で、当時まだ助手だった桑嶋健一と、米国MITの向かいのマリオット・ホテル(The Cambridge Center Marriott)で開催されたErnst & Young主催のコロキアム(4th Annual Colloquium on the Application of Complex Adaptive Systems to Business) “Embracing Complexity” に参加してみた。そのついでに、万有製薬の勧めで、(1984年10月から)親会社のMerck社(当時、売上高世界1位の製薬会社)の研究所と本社も見学に行った。
- この米国出張で、Merck社で見聞した研究開発におけるアイデア量と研究者間のコミュニケーションの話と、コロキアムで聞いたサンタフェ研究所のポスドク(Postdoctoral Fellow)だったWattsの path length と clustering coefficient の話(Watts & Widdowson, 1999, 2000) にインスピレーションを得た私は桑嶋と議論しながら「コミュニケーション競争モデル」というシミュレーション・モデルを設計した。ただし、複雑なモデルだったので、構造計画研究所の玉田正樹にプログラム化を手伝ってもらった。



学会報告は無反応



- 翌年、2000年10月にディスカッション・ペーパー(高橋・桑嶋・玉田, 2000)にまとめると同時に、2000年10月7-9日に、東京大学で開催された日本行動計量学会第28回大会で、「コミュニケーション競争モデル」(桑嶋・高橋・玉田, 2000)として発表。
- しかし、フロアからの反応は全くなく、手ごたえは無し。実は、なんだかんだいっても、学会発表で使用するグラフは、システム・ダイナミクス同様に、横軸に時間、縦軸に主要変数をとったグラフで、曲線ないしは折れ線になってしまう。
- そういえば、“Embracing Complexity”に参加した際、報告していた若い研究者に、フロアから年配の研究者が、システム・ダイナミクスとどこが違うんだと質問していて印象的だったが、実際、シミュレーション結果のグラフは似てしまうのだった。

桑嶋健一・高橋伸夫・玉田正樹 (2004).「研究開発パフォーマンスとコミュニケーション—マルチエージェント・シミュレーションと事例分析を通して—」『研究 技術 計画』19(3/4), 214-225. https://doi.org/10.20801/jsrpim.19.3_4_214

高橋伸夫・桑嶋健一・玉田正樹 (2006).「コミュニケーション競争モデルと合理性」『経済学論集』72(3), 2-20. 東京大学経済学会. 第5回

動画が想像力をかきたてる

行動計量学会のほぼ1週間後の2000年10月13日に、センチュリー・ハイアット・ホテルで開催される構造計画研究所カスタマーコンファレンス2000でも同じタイトルで高橋・桑嶋(2000)を発表することになっていたが、学会発表時の無反応に懲りて、論文調の話は早々に切り上げて、持ち時間の半分を、プロジェクターでマルチエージェント・シミュレーションの動画を流し続けることにした。すると、どうだろう、学会の時とは全く異なり、次から次へとフロアから手が上がるではないか(フロアは文理問わず色々な分野の研究者が集まっていた)。司会が休憩に入りますと宣言した後も、続々と壇に集まってきた研究者たちに質問攻めにされ、次のプレゼンが始まるので、やむなく追い出される始末だった。あんな単純な「●」が動き回るだけの動画でも、動画には、人々の想像力を呼び起こす力がある。

ディスカッション・ペーパー(高橋・桑嶋・玉田, 2000)のシミュレーション部分は、後に『研究 技術 計画』に論文(桑嶋・高橋・玉田, 2004)として掲載されるのだが、その前に2001年、ディスカッション・ペーパーを読んで、シミュレーションがやりたいと、私のゼミに入ってきた学部学生がいた。稲水伸行だった。彼は山影研究室にも出入りし、学部在学中に、KK-MASを使ってシミュレーションを行い、山影・服部(2002)の第2章(西・稲水・上野, 2002)の共著者にもなっている。大学院に進学した稲水の研究テーマの一つに、ゴミ箱モデルをマルチエージェント・シミュレーションとして再現するというものがあり、後に『行動計量学』に論文(稲水, 2006)が掲載される。実は、その論文を出す前のことになるが、

私は2004年5月にN社の役員クラスの朝食会で講演をした。講演が終わるとU常務が私のところにやってきて、オフィスを見ていかないと誘う。「フリーアドレスで面白いですよ」。私は誘われるままにオフィスに行き、U常務の説明を聞いたり、そこにいる人に話を聞いたりしているうちに、まるでゴミ箱モデルを絵に描いたようなオフィスだなと思った。そこで、すぐにアポを取って、稲水をPC持参で連れて行き、U常務にゴミ箱モデルのマルチエージェント・シミュレーションの動画を見せたのである。見るなりU常務は「これだ！」と叫んだ。そしてその場で即座に、稲水の調査に協力すると約束してくれたのである。

高橋伸夫 (2020) 「日本における組織のシミュレーション研究」『赤門マネジメント・レビュー』19(3), 77-98. <https://doi.org/10.14955/amr.0200515a>

シミュレーションの可能性

- シミュレーションと半世紀近く付き合ってきて肌で感じるのだが、シミュレーションはそれ単独で学問として成立させてはならないのではないだろうか。コンピューティングがもはや一部の研究者の独占物ではないように、シミュレーションも一部の研究者の専有物にしてはいけない。なぜなら(Takahashi, 2020)、
- A) モデルが現実の世界で呼吸するために、シミュレーションは存在するからだ。視覚化、動画化することで、現実の世界の人間(専門外の素人も含む)でも確認できたり、想像力を掻き立てられたりするためにシミュレーションは用いられる。
 - B) モデルはシミュレーション自体では妥当性を主張できないからだ。仮にシミュレーションで常識外の現象や未知の重要なパラメータが示唆された場合には、それが実際に存在し測定できるのかを調査し現実のデータで確かめてみる研究が必要になる。そしてその現象が存在すれば、さらに、パラメータの違いで現象が説明できれば、モデルの妥当性の証拠になる。

現実の世界から得たインスピレーションをモデルでシミュレート(再現)し、シミュレーションの結果を現実の世界で確かめてみる。組織のシミュレーションの可能性と未来は、シミュレーション専門家の脅しにも屈しない、偉大なる素人の手に委ねられている。