

# 構造的動的モデリングによる社会システム論の構築に向けて： 「ビールゲーム」実験から得られたこと

黒野宏則 九州国際大学経済学部

[要約]「行動は構造から必然的に引き起こされる」という観点に立つシステムダイナミックスの手法が、社会システムのダイナミックな挙動の分析と改善に対してどのようなアプローチをするかを、ビールゲーム実験の成果に基づいて説明し、システムダイナミックスの手法およびこの実験の重要性が、活動フィードバックの認識に由来するものであることを指摘する。

キーワード：ビールゲーム、ビールゲーム実験、投錨と調整型ヒューリスティック、システムダイナミックス

## 1. システムダイナミックス手法の特徴

システムダイナミックスは、1956年にフォレスター教授によって創案された[1] [6]。この手法は、当初から、正と負の2種類の情報フィードバックを認識するとともに、複雑なシステムの行動が情報フィードバックの構造と物理的な構造とによって引き起こされるという観点を育んできた。つまり「行動は構造から必然的に引き起こされる」という観点である。今日も、一般的なシステム、とりわけ社会システムの挙動を分析し改善する有効な手法として研究が進展している。

本稿では、ストック(在庫)管理をシステムダイナミックスの手法を用いてゲーム盤化した「ビールゲーム」を使って行われたスターマンの「ビールゲーム」実験[7]を検討するとともに、この実験の意味を通して、システムダイナミックスに基づく構造的動的モデリングによる社会システム論の構築を検討する。

## 2. 「ビールゲーム」実験とは

「ビールゲーム」は、産業における生産流通システムのロールプレイングシミュレーションで、ビールの生産流通を模したゲーム盤(図1<sup>1</sup>)でプレイされる[6] [8]。このゲームは、経済ダイナミックスやコンピュータシミュレーションの概念を経営の学生に手ほどきするために1950年代後半頃MITで開発され、今日も尚、高校生から最高経営責任者や政府の役人にいたるまで世界中で何千人にもプレイされている。また今日では、パソコン用のゲームとしても、さらにはインターネット対応のゲームとしてもプレイされている<sup>2</sup>。

<sup>1</sup>「ビールゲームキット」が国際システムダイナミックス学会日本支部で用意されている。訳語や記録シートを含めて改訂案検討中 [4]。

<sup>2</sup>例えば、ソフトウェアSTELLAやPowerSimでは、ビールゲームが添付されている。とりわけPowerSimではインターネット対応のゲーム化が容易である。また、わが国でもLAN上で取り組まれている[3]。

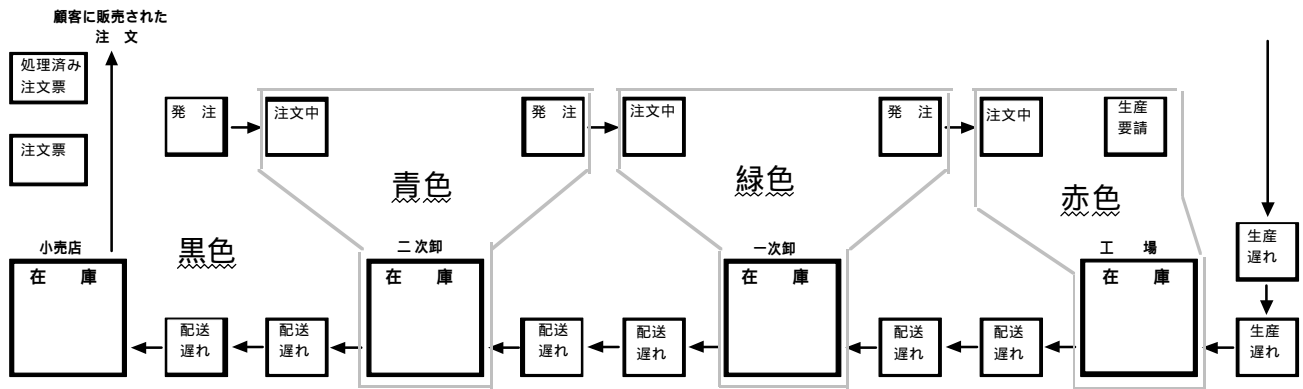


図 1 ビールゲーム盤

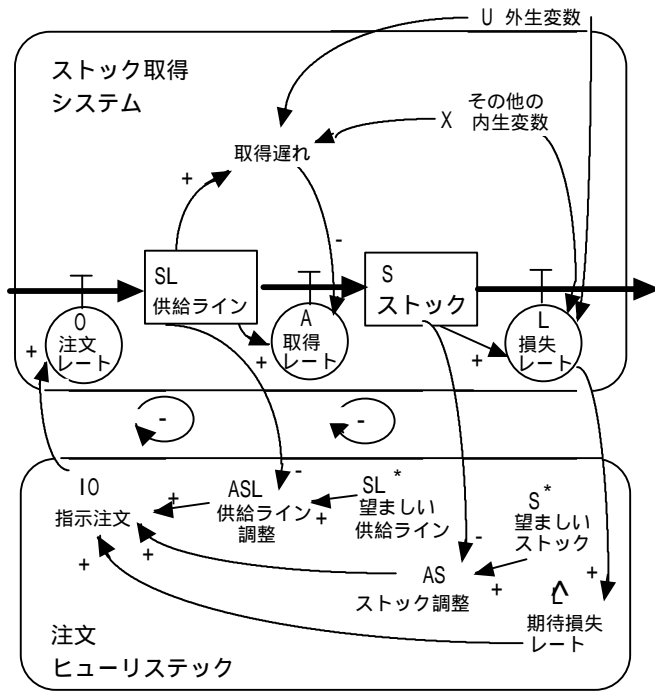
ビールゲーム盤上の醸造会社は、それぞれ、「小売店」、「二次卸」、「一次卸」、「工場」の4セクタから構成されており、4人一組がチームとなって会社の総費用最小化を競う。但し、在庫費用は0.5ドル/ケース/週、(品切れ時の)受注残費用は1ドル/ケース/週である。

本稿で言う「ビールゲーム」実験とは、MITスターマンが1980年代前半の4年間に渡って行った48実験(被験者192人)の中で重大なエラーを含む実験を除外した11実験(被験者44人)を指している[7]。被験者は、MITスローン経営学部の大学生・経営修士・博士、コンピュータシミュレーション短期コースに参加した経営者、大手コンピュータ企業の上級経営者などである。

スターマンの「ビールゲーム」実験は、次の2点において評価されよう。

1. システムダイナミクスという分析手法が、現実の管理者の意思決定を記述しうる手法であることを検証した。
2. システムダイナミクスという分析手法が、現実の管理者のミクロな意思決定からシステム全体というマクロな挙動を発生させる手法であることを検証した。

第一の点は、ストック(在庫)管理における管理者行動のモデルを仮定し、その有効性を実験データで検証することにより達成されている。仮定された一般的ストック管理のモデル(図2)は、注文レートを決定する際の管理者の意思決定が2つの負の情報フィードバックで制御される。まず第1の負の情報フィードバック(図2右側)は、ストックから流出する損失レート(出荷や販売など)およびストックの変動からストックの水準を保持しようとする。第2の負の情報フィードバック(図2左側)は、取得遅れを反映して遅れながら変化する供給ラインの変動から供給ラインの水準を保持しようとする。このような管理者の意思決定の構造が、実験で検証された。



注文レートを決定するための2つの負の情報フィードバック。図の右側の負の情報フィードバックは、ストックから流出する損失レート（出荷や販売など）およびストックの変動からストックの水準を保持しようとする。図の左側の負の情報フィードバックは、取得遅れを反映して遅れながら変化する供給ラインの変動から供給ラインの水準を保持しようとする。

図2 一般的ストック管理のモデル

第二の点は、この「ビ-ルゲ-ム」実験を分析した結果、ゲームをプレイするメンバーに関わらずどのチームにも共通して見られる規則性を指摘し、かつ、その規則性の発生原因を究明することにより管理というミクロな構造からマクロのダイナミクスが生成されることを検証した。

まず、規則性であるが、顧客の注文パターンを4週目に一度だけ4ケースから8ケースへとステップ増加させただけでも関わらず、チームが異なっても、振動・増幅・位相遅れ、について類似したパターンが観察された（図3）。次に、仮設された意思決定モデルに基づき被験者の注文数や在庫・受注残・供給ラインの商品数について統計処理したところ、「投錨と調整型(anchoring and adjustment [5]) ヒューリスティック」が支持された。つまり、意思決定者は、初期の注文レートを投錨値として参照しながら、変化に対応して少しずつ次々と注文レートを調整するのである。

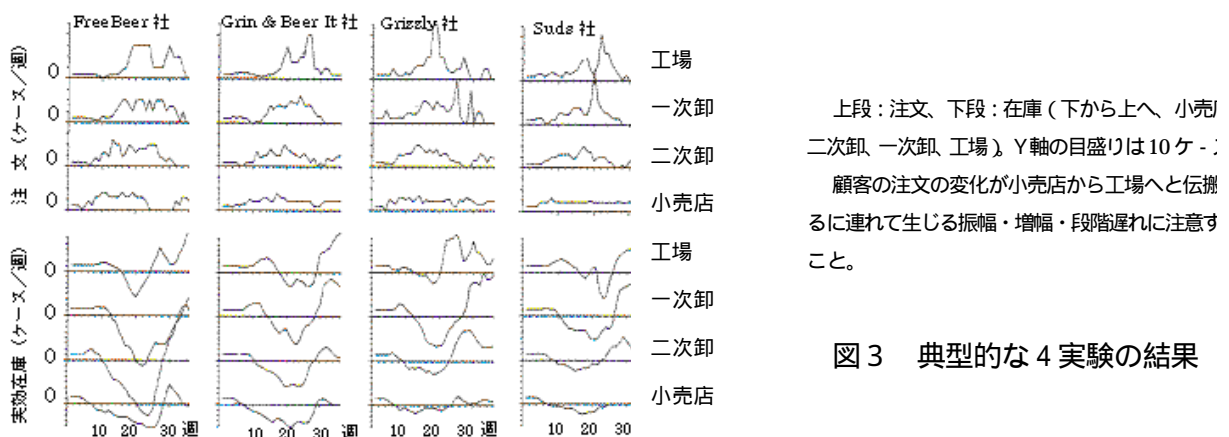


図3 典型的な4実験の結果

次に、観察された規則性に見られる悪いパフォーマンスの発生原因であるが、被験者の投錨値からの値の調整が外部環境の変化に比べて緩慢であることも一因と考えられると共に、被験者が、供給ラインの水準を十分に評価しないでストック管理を行っていることが明らかにされた。とりわけ被験者は、ストックと供給ラインをめぐる2つの負の情報フィードバックにより注文レートを意思決定している。負の情報フィードバックは、目標と現状の差を是正するように行動を引き起こし、常に目標を維持しようとする情報フィードバックである。このような2つの負の情報フィードバックによる制御にも関わらず、なぜ、悪いパフォーマンスが発生するのであろうか。その理由として、スターマンは、供給ラインに対する被験者の認識が低いことを指摘している。収集データを分析した結果、比較的に良いパフォーマンスを示す被験者に比べると、悪いパフォーマンスを示す被験者では供給ラインの水準を制御するパラメータの値は小さいことが分かったのである。つまり被験者は、取得遅れのために遅れながら変動する供給ラインの水準を十分には認識できていないのである。かくて被験者は、供給ラインの水準を十分に評価しないままで「投錨と調整型ヒューリスティック」によるストック管理を行っていると考えられるのである。

最後に、管理というミクロな構造から生成されるマクロのダイナミックスについて述べる。「小売店」、「二次卸」、「一次卸」、「工場」の各ポジションの2つの負の情報フィードバックによるストック管理というミクロな構造から、「工場」セクタの在庫・生産における欠乏と過剰という現実世界で観察されるようなマクロのダイナミックスの変動が生成再現される。つまり、各ポジションの合理的な意思決定から逆機能して生成されるマクロでの悪いパフォーマンスが再現される。

### 3．結果フィードバックと活動フィードバック

それでは、なぜ、被験者は、このようなヒューリスティックを使い続けるのだろうか。スターマンによれば、被験者が「オープンループ」の観点から悪いパフォーマンスの原因を外部に求めているために、被験者自らの学習を妨げているとされる。このことから、フィードバック情報に含まれる内部反応の遅れを十分に評価しない「フィードバックの誤認(misperception of feedback)」が生じ、しかも、被験者は、自らが誤認していることすらも自覚しえないのである。

ところで、フィードバックのタイプとして、スターマンは、“活動フィードバック(action

feedback)”と“結果フィードバック(outcome feedback)”とを明確に区別する。スターマンは、その違いと重要性を次のように平易に説明される<sup>3</sup>。

「システムダイナミクスでわれわれが扱っているフィードバックのタイプに対して、私は“活動フィードバック(action feedback)”という用語を用い、心理学で“結果フィードバック(outcome feedback)”として知られているものとの違いを明確にしました。

具体的に違いを説明しましょう。明日の天気を予測する場合、その予測が正しかったかどうかは、その次の日に学習します。この場合には、結果フィードバックが得られます。つまり、予測の結果に対してのフィードバックが得られているのです。そして、予測の向上のためにこの結果フィードバックを活用できます。しかしながら、予測は、天気そのものには何も影響を与えません。つまり、予測は、天気システムを変えないからです。

システムダイナミクスでは、自分の意思決定が、システムそのものに影響を与える状況に極めて頻繁に関与します。このような状況は、心理学者が結果フィードバックを議論するときに意味するものとは根本的に違います。なぜなら、自分が受け取る結果フィードバックにどのように反応するかによって、システム全体のダイナミクスが変化しうるからです。」

結果フィードバックは、システムダイナミクスで当初より認識されてきた重要なフィードバックである。実は、「ビールゲーム」実験の被験者は、このようなフィードバックの認識が希薄なのである。つまり、被験者は、振動の全く無い入力に反応して、大きく増幅されたサイクルを創出し、また、自らの意思決定からの環境へとフィードバックが存在していることに無関心であり、活動と反応との間の時間遅れを過小評価し、供給ラインを考慮していないのである。

#### 4. まとめ

最後に、社会システム論の構築に向けてシステムダイナミクスによる構造的動的モデリングがどのように活用されうるかを「ビールゲーム」実験と関連させてまとめておきたい。

結果フィードバックは、システムダイナミクスにおいて当初から認識されてきた。それは、自転車に乗る時のように、意思決定とその結果とが卑近である。しかし、複雑なシステムの学習

---

<sup>3</sup> 第13回システムダイナミクス国際会議(トルコ Bogazici 大学: 1997年8月19日~8月22日)でMIT スターマ

においては、例えば混雑した中で自転車に乗る時などや動的な社会システムでは、意思決定と環境の変化との間にあって将来の意思決定を条件づける活動フィードバックの方がより重要である。実は、その重要性を学習する手段として「ビールゲーム」は有効なのである。ゲームのプレイヤーは、遅れを含む活動フィードバックを認識していないと悪いパフォーマンスがもたらされることをプレイで体験し、そこに潜むゲームの構造に気づき、結果フィードバックの重要性に開目する。

こうして「ビールゲーム」でその構造の重要性に開目した被験者にとって、遅れを含む活動フィードバックなどの情報フィードバックの構造を認識し、それが行動に及ぼす影響を考察するためには、シミュレーションを有効な手段として活用することとなる[9]。冒頭に「行動は構造から必然的に引き起こされる」と述べたが、例えば、「ビールゲーム」の各セクタの意思決定を向上させるためには、新たな情報フィードバックの構造を改善するポリシーデザインをシミュレーションしその行動を検証するのである。また、ミクロとマクロの行動の改善を目指すならば、日高が研究したように、セクタ間の情報共有という観点からも情報フィードバックの構造を改善するポリシーデザインをシミュレーションしその行動を検証するのである[2]。

[謝辞] 本研究は、平成9年度文部省科学研究補助金基礎研究(C)(2)課題番号09893002「財務分析とシステム思考を基礎としたビジネスゲームの開発に関する研究」(研究代表者藤田昌也教授(九州大学経済学部)、幹事時永祥三教授(九州大学経済学部))の補助を受けた。本報告のレジメは、日本シミュレーション&ゲーミング学会(JASAG)第9回全国大会(1997年10月3日4日、東京大学駒場キャンパス)においてJASAGと国際システムダイナミクス学会日本支部長との共同セッション「社会システムとモデリング教育」において報告した。共同セッションを企画されたJASAG事務局長市川新教授(流通経済大学)と、セッション座長を務められた国際システムダイナミクス学会日本支部長亀山三郎教授(中央大学)のご尽力を記します。

[参考文献]

- [4] Kurono, Hironori, Toshiro Simada, Saburo Kameyama, Tomofumi Sumita, Shoji Hidaka, Arata Ichikawa, "A Revised Edition of Beer Game," the Proceeding of the 1997 International System Dynamics Conference.
- [5] 佐伯胖、『認知科学の方法』(認知科学選書10)、東京大学出版会。
- [6] 島田俊郎編、『システムダイナミクス入門』、日科技連、1994年。
- [7] Sterman, John D. : "Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment," Management Science, Vol.35, No.3, March 1989. (黒野宏則訳「管理者行動のモデル化」、『システムダイナミクス』、No.2、1997に掲載予定。)
- [8] Sterman, John D. : "Instructions for Running the Beer Distribution Game," System Dynamics Group (MIT), D-3679, October 1984.
- [9] Sterman, John D. : "Learning in and about complex systems," System Dynamics Review, 10[2-3]:277-330, SUMMER-FALL 1994.

---

ン教授に“action feedback”についてご質問し、その後Eメールでご説明を頂いた。