

《翻訳》

管理者行動のモデル化： ダイナミックな意思決定の実験におけるフィードバックの誤認 †

John D. Sterman*著 黒野宏則**訳

要約

個人選択についての心理学の研究から、人間の合理性には多数の認知的な制約を初め諸制約があり、これらの制約がしばしばシステムティックなエラーやバイアスを生じさせることが認識されている。しかし、経営科学や経済学での集計現象に関する多くのモデルは、個人の意思決定に関するこのようなミクロな経験的知識とは一致していない。ある説明によれば、個人の意思決定の研究に用いられる実験手法を集計的でダイナミックな状況へと拡張していくことが困難なためである。本稿は、普通の管理のコンテキストにおけるミクロの構造からマクロのダイナミックスを生成する実験を報告する。被験者は、多数の行為者、フィードバック、非線型性、時間遅れ、とからなる模擬的な生産流通在庫システムを管理する。ここでは、個人の意思決定が模擬的な企業構造と相互作用し、最適行動とはシステムティックに乖離した集計的ダイナミックスを生じさせる。そこで、被験者の意思決定プロセスを説明する一つのモデルとして、ストック（蓄積）管理のための投錨と調整型（anchoring and adjustment ††）ヒューリスティックを提案する。エコノメトリックテストによれば、このルールは被験者の行動をよく説明する。実験から得られた結果を評価検討した結果、被験者の悪いパフォーマンス（poor performance †††）の原因を説明するいくつかの「フィードバックの誤認（misperceptions of feedback）」を認識する。特に、被験者は自らの意思決定が環境に及ぼすことから生ずるフィードバックに対して無反応であることを示す。最後に、得られた結果について的一般性を考察し、集計的な社会的経済的ダイナミックスに関する行動理論に与える示唆を述べる。

〈キーワード〉 行動的意思決定論、ダイナミックな意思決定、実験経済学 ††††、在庫管理、システムダイナミックス

*マサチューセッツ工科大学 **広島県立大学

1. はじめに

個人選択についての心理学の研究から、認知的、情報的、時間的な制約を初め人間の合理性を制約する多数の諸制約があり、これらがしばしば合理的モデルによる予測とは異なる行動を生じさせることが認識されている (Simon 1979, Kahneman, Slovic, and Tversky 1982, Plott 1986, Smith 1986, Hogarth and Reder 1987)。しかし、経営科学や経済学での集計現象に関するモデルの多くは、個人の意思決定に関するこのようなミクロの経験的知識とは一致していない。Hogarthは1981年のレビューで、「有機体と環境との間のフィードバック効果」に払われる「不十分な注意」を嘆いている。ここでフィードバックとは、結果フィードバック (outcome feedback) だけでなく、エージェントの過去の行動から直接的間接的に引き起こされる環境や選択諸条件の変化も意味する。例えば、増産という企業の意思決定は、市場を通じて商品価格や利益や需要に影響を及ぼす。増産は労働市場や素材市場を緊迫させ、競争企業も反応しよう。こうしたことの全てが将来の生産決定に影響する。このような多重フィードバックは、現実の選択問題では例外ではなく標準である。結果的に言えることは、行動的意思決定論の多くの研究が静態的で個別的な問題に関する個人選択に焦点を当ててきたために、心理学的な認識が企業行動や産業行動や経済といった集計的ダイナミックスの諸理論に浸透することを制限しているのである。そこで、「ミクロレベルの新しい種類のデータ、つまり、経済的エージェントの行動や、経済的エージェントが意思決定をするときの諸方法に関して、直接的な証拠となるデータ入手する (Simon 1984, p.40)」ことを目的とした新たな実証研究が望まれるのである。しかし、このようなミクロレベルのデータの入手は、極めて重要とはいえ、それだけでは十分ではない。Coleman(1987)の主張によれば、経済学と心理学の一体化のための最も偉大な進歩は、「個々の行為者のレベルをシステム行動のレベルへと展開する機構」、つまり、ミクロの構造からのマクロの行動の生成、を理解するところにある。

本稿は、個人行動の研究に極めて効果的に活用された実験手法を、普通の管理のコンテクストにおけるミクロの構造からマクロのダイナミックスを生成することに適用する。実験では、被験者は「ビールゲーム (Beer Distribution Game)」という模擬的な生産流通在庫システムを管理する。被験者の意思決定内容は簡単で、不確実な需要下において在庫を適切に管理することにより合計費用の最小化を目指す。しかし、この模擬的な環境は、多数の行為者、フィードバック、非線型性、時間遅れ、とからなっており極めて現実的である。ここでは、個人選択が模擬的な企業構造と相互作用し、最適行動とはシステムティックに乖離した集計的ダイナミックスを生じさせる。そこで、被験者の意思決定プロセスを説明する一つのモデルとして、ストック (蓄積) 管理のための投錨と調整型 (anchoring and adjustment) ヒューリスティックを提案する。エコノメトリックテストによれば、このルールは被験者の行動をうまく説明する。結果の分析からは、被験者はいくつかの「フィードバック情報の誤認 (misperceptions of feedback)」の犠牲者であることが示される。特に被験者は、コントロール活動を実行したにもかかわらず効果がもたらされていなかった場合に、そのコントロール活動を説明できなかった。被験者は、自らの意思決定が環境に及ぼすことから生ずるフィードバックに対して無反応であった。被験者の大多数は、自分の経験したダイナミックスの発生原因を、実際には自らの活動によって内的に引き起こされていたのにもかかわらず、外部事象によるものと考えた。本稿ではさらに、外生的事象からダイナミックスが生ずる、と考える被験者の「オープンループのメンタルモデル (open-loop mental model)」は、より高い能力に向けての学習を妨害し改革も遅らせる、と仮説する。最後に、得られた結果について的一般性を考察し、集計的な社会的経済的ダイナミックスに関する行動理論に与える示唆を述べる。

2. ストック管理の問題

最もありふれたダイナミックな意思決定の業務は、ストックの状態やシステムの状態の調整である。このような業務では、管理者は、特定の目標水準やあるいは少なくとも受容範囲内に数量を保持しようとする。ストックは、直接的にはコントロールできないが、入出荷レートの変化によって影響される。典型的には管理者は、損失分や使用分を補充するよう、かつ、望ましい値から遠ざけるかく乱を妨害するよう、入荷レートを設定しなければならない。しばしば、コントロール活動の開始からその効果が発生するまでには、あるいは、ストックが変化しその変化を管理者が認識するまでには、時間的な遅れ (lag) がある。これらの遅れの持続時間は変化するであろうし、また、管理者自身の活動によっても影響されよう。

ストック管理の問題は、集計の多くのレベルで生じる。企業レベルでは、管理者は、費用のかかる在庫蓄積を防ぎながらも、望ましいレートでの生産に十分な在庫を保持できるように部品や材料を注文しなければならない。管理者は、使用や損耗による材料の変動や、材料の配送遅れに適応しなければならない。個人レベルでは、人々は、朝にはシャワー温度を調整し、ハイウェーで車を運転し、私用の小切手勘定をやり繰りする。マクロ経済レベルでは、連邦準備局は、信用需要の変動、予算不足、国際資本の移動を補正しながらも、経済成長を刺激しインフレーションを回避するように貨幣ストックを管理する。

一般的なストック管理の問題は、(1) システムのストックとフローの構造、(2) 管理者の用いる意思決定ルール、の二つの部分に分けられよう(図1)。まず、ストックとフローの構造を考えると、ストックSは取得レートAから損失レートLを差し引いた累計である。

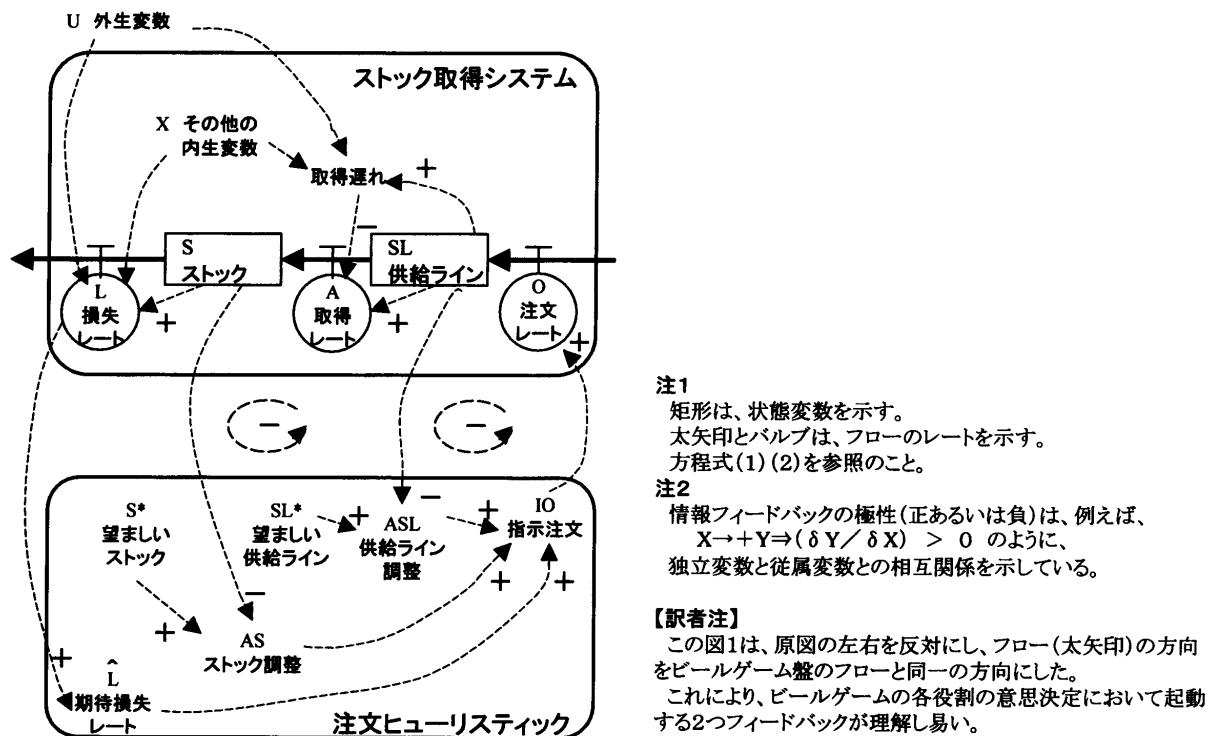


図1 一般的なストック管理システム

ここで損失は、ストックからのあらゆる流出であり、それは、(原材料在庫の場合の) 使用や(プラントおよび設備機器の減価償却などの) 質的低下からも生じる。損失レートは、ストックそ

れ自身に依存しており、ストックが減少すればその値は0に近づく。さらに損失レートは、その他の内生変数Xや外生変数Uにも依存する。また損失は、非線型であろうし、ストックの年数分布(age distribution)にも依存しよう。

取得レートは、供給ラインSL(注文されていて未入荷の単位数)と、平均取得遅れ λ とに依存する。一般には、供給ラインそれ自体と、その他の内生変数や外生変数に依存しよう。供給ラインは、発注済み注文Oから、配送済み注文Aを差し引いた単なる累計である。

図1と方程式(1)(2)で表された構造は極めて一般的である。このシステムは非線型となろう。このシステムには、内生変数の相互間を任意に結ぶ複雑なフィードバックがあり、あるいはまた、外部からの体系的な諸力や確率的な諸力にも影響される。表1には、普通の事例を一般化して整理している。各事例では、管理者は、ストックを目標に近付けるように注文レートを終始選択していくなければならない。興味深いことに、このようなシステムの多くは、その特徴的な行動として振動や不安定性を示す。

システム	ストック	供給ライン	損失レート	取得レート	注文レート	典型的な行動
在庫管理	在庫	注文中の商品	顧客への出荷	供給者からの到着	商品の仕入	ビジネスサイクル
資本投資	資本設備	建設中の設備	減価償却	工事の完了	顧客契約	社説サイクル
設備機器	設備機器	注文中の設備機器	減価償却	設備機器の到着	顧客が設備機器の購入	ビジネスサイクル
人的資源	従業員	欠員および被訓練者	レイオフと雇用	雇用レート	欠員の削減	ビジネスサイクル
資金管理	現金残高	手取中の財資	支出	信入れレート	融資申込レート	?
マーケティング	顧客数	有価な顧客	競争者への導入	新規顧客の開始	新規顧客との契約	?
実稼	実稼数	未完成稼働実績	延滞レート	成熟レート	整備レート	ビジネスサイクル
商品	在庫	市場で販売物	消費	取扱レート	補充レート	商品循環サイクル
店舗施設	ビルの数	建設中のビル	減価償却	完工レート	開店レート	15-25年サイクル
電熱器での昇温	ボットの温度	電熱器ワイルの熱	空中への拡散	熱交換ボットへの昇温	火力の設定	燃(地)温さたディマー
ドライブ	開拓車といじわる	車の走行距離	摩擦	加速	燃料比	キロ/ヘクタール のうちの運転料の交換
シャワー	水温	シャワー中の水温	排水レート	シャワー時間中の流量	蛇口の設定	燃費として運動
個人のエネルギー・水準	血栓量	血管の部分とでんぶん	新陳代謝	消化作用	食品の消費	エネルギーレベルのサイクル
飲酒	血液中のアルコール	口の中のアルコール	アルコールの新陳代謝	胃から血液への吸収	飲酒レート	アルコール中毒

表1 ストック管理システムの事例

ストック管理の最も現実的な状況では、諸変数間のフィードバックの複雑性が、最適戦略による決定を不可能にしている。本稿で示す注文決定モデルでは、管理者は最適化できない代わりに局部的に合理的なヒューリスティックでコントロール行使する、と仮定している。そういう意味では、このモデルは、Simon(1982)やCyert & March(1963)などが発展させた「制約された合理性」という伝統的な概念に忠実である。つまり本稿では、認知的な諸限界を、課業のファクタリングや下位目標といった組織構造から引き起こされる情報的な諸限界として認識しているのである(局部的な合理性についての議論は、Morecroft (1983,1985)とSterman (1985,1987a)を参照。[訳者補足]ジョン D.W. モアクロフト (1985) の邦訳は、拙訳「行動シミュレーションモデル分析における合理性」、九州国際大学経営経済論集、1995年3月、第1巻第2号、pp.167-195にある。)。

ここで仮定した意思決定ルールは、意思決定者に局部的に利用可能な情報を活用するものであり、システム構造全体に渡る知識を管理者が持つものとは想定していない。ここで仮定される管理者は、(1) 期待損失をストックで補充し、(2) 望ましいストックと実際ストックとの差を減少させ、(3) 未入荷の注文品のある供給ラインを十分に維持する、というように注文を決定する。こ

のヒューリスティックの定式化では、まず最初に、たいていの現実生活では注文は非負である、ということに気づかなければならない。すなわち、

$$O_t = \text{MAX}(0, IO_t) \quad (3)$$

ここでIOは指示注文レート、つまり、他の圧力によって指示されたレートである。注文の取消は時には可能であるが、注文の取消が（例えば、1970年代の米国の原子力産業のように）時には新規注文を上回ることもある。注文の取消は、新規注文からの影響よりも、種々の費用や管理手続きからの影響を受けやすい。このため、注文の取消は、負の注文としてではなく、供給ラインからの特別な流出、としてモデル化されるべきである。

指示注文レートは、投錨と調整型ヒューリスティック (Tversky and Kahneman 1974) に基づく。「投錨と調整 (anchoring and adjustment)」とは、普通の戦略で、未知の量を、まず既知の参照値（投錨値）を思い起こすことによって評価し、続いて、取るに足らない効果やはつきりしない諸要素の効果を調整する。このことから、被験者は、KahnemanとTversky (1982) の言う「メンタルショートカット」を行わなければならない。投錨と調整は、広範囲のさまざまな意思決定業務に適用されている (Einhorn and Hogarth 1985, Davis et al. 1986, Johnson and Schkade 1987, Hines 1987)。ここでの投錨値は、期待損失レートである。そこから調整され、望ましいストックと実際ストックとの差 (AS) や、望ましい供給ラインと実際供給ラインとの差 (ASL) の解消が計られる。つまり、

$$IO_t = t + AS_t + ASLt \quad (4)$$

期待損失は、さまざまな方法で定式化されよう。一般的な定式化としては、静的な期待値 $t = L^*$ (定数または均衡値)、回帰期待値 $t = \gamma L_{t-1} + (1-\gamma) L^*, 0 \leq \gamma \leq 1$ 、適応的期待値 $t = \theta L_{t-1} + (1-\theta) t-1, 0 \leq \theta \leq 1$ 、および外挿期待値 $\Delta t = \sum \omega_i \cdot \Delta L_{t-i}$ (但し、 Δ は一階微分で $\omega_i \geq 0$)、などがある。

このヒューリスティックのフィードバック構造は、図1下部に示している。ストックASの調整は、ストックを制御する負のフィードバックループを形成している。単純化のために、調整は、望ましいストックと実際ストックとの差に関して次のような線型とする。

$$AS_t = \alpha S (S * t - St) \quad (5)$$

ここでストック調整パラメータ αS は、各期に注文される差の乗数である。供給ラインの調整は、同様に次のように定式化される。

$$ASLt = \alpha SL (SL * t - SLt) \quad (6)$$

ここで SL^* は望ましい供給ライン、 αSL は供給ラインのための乗数調整レートである。一般的には、望ましい供給ラインは定数ではなく、望ましいスループット Φ^* や、商品の注文と取得との間の期待遅れに基づいており、次のようになる。

$$SL^*t = t \cdot \Phi^*t \quad (7)$$

商品取得の期待遅れが長いほど、また、望ましいスループットが大きいほど、供給ラインはより大きくならなければならない。例えば、小売店が毎週千個の機器を供給者から取得したい場合で配送を6週間とすれば、配送に支障なくフローを確保するには、小売店は注文中の機器を6千個保有しなければならない。供給ライン調整は、取得レートが望ましいスループットや取得遅れと一致するように、注文を調整する負のフィードバックループを形成する。もしこのようなフィードバックがないならば、ストック不足の補正に十分な注文品が供給ラインに確保された後になつても注文がなされ続け、過剰や不安定性が引き起こされる。この供給ライン調整は、取得遅れの変化も補正する。例えば、もし取得遅れが倍になれば、供給ライン調整は望ましいスループット

の回復に十分なほどの追加注文を引き起こす。 λ^* や Φ^* の可能な表現には、期待損失の定式化と同様に、定数から高度な予測に至るまで様々である。

投錨と調整の観点からいうと、期待損失は、容易に予測されて比較的安定的な注文決定のためのスタート点をなしている。損失レートの情報は、一般的に、意思決定者に局部的に利用され、極めて重要である。損失補充は、ストックを現水準へと一定に保つであろう。そこで調整は、ストックおよび供給ラインが十分にあるかどうかに反応しながら行なわれる。こういった調整が最適であるとか、管理者が実際に方程式を用いて注文レートを計算するとかいった仮定はしていない (Einhorn, Kleinmuntz, and Kleinmuntz 1979)。むしろ、望ましい量と実際量との差から生じる圧力が、現状を維持するであろう水準の上あるいは下へと注文レートを管理者に調整させるのである。

3. ストック管理の実験

「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あり、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MITで開発された。このゲームは、およそこの30年近くの間、高校生から最高経営責任者や政府の役人にいたるまで、世界中で何千人もプレイしている。

このゲームは、ビールの生産流通を模したゲーム盤上でプレイする（[訳者補足]ここで参照されるゲーム盤について説明される図2は、紙面の関係上掲載省略。島田俊郎編『システムダイナミックス入門』、1994、日科技連、171–176頁、および、本号掲載論文「ビールゲームの改訂案」参照。）。ビール注文票や、ビールケースを表す1セント銅貨は、プレイヤが手で動かす。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、一人のプレイヤが一つのセクタを管理する。伏せられたカードの山は、顧客の注文（需要量）である。毎週、顧客は小売店にビールを注文し、小売店は求められた数のビールを在庫から出荷する。小売店は二次卸にビールを注文し、二次卸は求められた数のビールを在庫から出荷する。同様に、二次卸は一次卸にビールを注文してビールを受け取る。すると、一次卸は工場にビールを注文してビールを受け取る。工場はビールを醸造する。各段階には、配送遅れと注文処理遅れがある。これらの遅れは、注文の受理処理、出荷、配送、に要する時間を表しており、後で説明するように、ここでのダイナミックスでは極めて重要な役割を果たしている。

被験者の目的は、ゲームでの会社の総費用最小化である。在庫費用は0.5ドル／ケース／週で、(品切れ時の)受注残費用は1ドル／ケース／週。これらの費用は、流通過程の各セクタで査定評価される。

各被験者の意思決定業務は、ストック管理の問題についての良い例である。被験者は、受注残を回避しながらできるだけ少ない在庫を維持しなければならない。在庫は、発注されなければならない。そして、発注された商品の配送遅れは、潜在的には変数である（つまり、遅れは4週間以下にはならないが、上流の在庫が不足しているときにはより長くなる）。

実験のプロトコル

各セッションは、プレイヤ4人一組を一チームとする3～8チームからなっている。被験者には、小売店、二次卸などの役割をランダムに当てる。各被験者には賭け金1ドルを出してもらう。賭け金は全て、最小総費用の勝チームの賞金とする。次に、ゲーム進行を説明する（[訳者補足]図2は掲載省略）。このゲームは定常状態から始まる。各在庫は12ケースで、初期のスループットは週4ケースである。顧客の注文は、同様に週4ケースで始まる。最初の4週で、被験者に発注や

在庫の記録などの仕組みに慣れてもらう。この間、顧客の注文は一定で、各プレイヤには週4ケースの注文をするように指示することによって初期の定常状態を維持する。4週の初めには、プレイヤには非負で望むだけの注文を許す。5週には、顧客の注文を週8ケースへと黙ったまま一度増加させる（図3）。このステップは非定常状態へとかく乱を引き起こすので、被験者はそれに反応し分析していかなければならない。

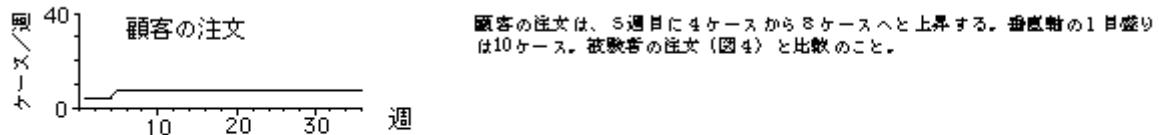


図3 顧客の注文

実験中は、規則・手続き・解釈に関する質問には答えるても、戦略・顧客の注文に関する質問は答えない。被験者にはゲームは50週と言うが、実際には、水平効果を避けるため36週以後はゲームを止める。普通、説明とゲームに90分、その後に省察（debriefing）を行う。

情報の利用可能性

このゲームは、各被験者は局部情報には豊富でも全体情報には極めて限定されたものとして設計されている。各被験者は、在庫あるいは受注残、供給者への注文、を記録シートに毎週記入する。しかし、被験者同士はゲーム中や休憩中にコミュニケーションしないよう指示される。被験者には、事前には顧客の注文は知らされない。ただ被験者の内で小売店だけが、ゲーム進行中に顧客の注文を知る。その他の被験者は、各被験者のそれぞれの顧客の注文だけを、しかも1週間遅れで知る。プレイヤは隣り合わせに座り雑談できない。各被験者は、他のプレイヤのビールの在庫量をゲーム盤上で観察し、発注に役立つ情報を収集できる。ゲーム進行はいつも活発で、被験者の突然の感情のほとばしが情報を伝えることもある。

このような情報の制約は、たとえ各チームの目標が総費用最小化であるとしても、被験者がお互いの意思決定を調整できないとか、共同戦略を立案できないとかを意味している。多くの現実的な状況と同様に、全体の最適化の問題は、組織内部に広く分布する下位目標へと分解されなければならないのである。

サンプル

ここで報告する結果は、4年間に渡り収集された48実験（被験者192人）から得られた。被験者は手で記録するため、時折計算エラーがある。このため、4人の被験者の内で誰かが重大なエラーをした実験を除外し、11実験（被験者44人）が残った。このサンプルでは、被験者は、MITスローン経営学部の大学生・経営修士・博士、それに、コンピュータシミュレーション短期コースに参加したさまざまな企業からの経営者、ある大手コンピュータ企業の上級経営者などである。分析の結果、多くの場合、最大費用のチームは計算エラーによるものである。最終的に残った11実験のサンプルを用いて、このゲームの理解と成果の最も高い被験者と見なす。この実験は地味ではあるが、以下の結論を強化するものである。

4. 結果

システムの複雑性は、例えば23次非線型差分方程式は、最適行動の計算を手に負えないものに

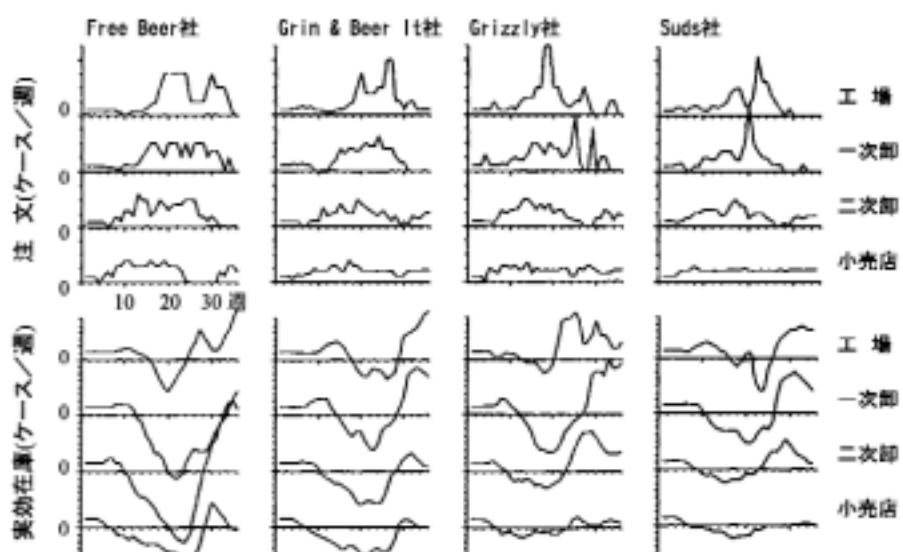
する。しかし、被験者のパフォーマンスを評価するためのベンチマーク（基準値）はコンピュータシミュレーションによって得られた。以下で示すように、提案された意思決定ルールは4パラメータからなっている。最小費用をもたらすこれらのパラメータは、起こりうるパラメータ空間に関し、ゲームのシミュレーションによって計算された²。ベンチマーク費用は、被験者が直面したのと同じ情報の制約を仮定して計算された。ベンチマーク費用を、11実験の実際費用と比較して表2に示している。平均チーム費用は、ベンチマークの10倍以上である。個々のセクタは、ほぼ良く似た倍率でベンチマークを上回っている。実際費用とベンチマーク費用との差は、非常に有意である。

より興味深いことには、最適性からは乖離しているという特徴である。被験者は、類似した行動をするのであろうか。また、被験者のエラーは共通の原因から生じるのであろうか。図4は、いくつかの典型的な実験を示している。表3では、全サンプルの行動についてのキー指標を示している。注文パターンを検証すると、いくつかの規則性が明らかになってくる。

表2 実験における費用とベンチマーク費用との比較

	チーム合	小売店	二次卸	一次卸	工場
平均(N=11)	\$2,028	\$383	\$635	\$630	\$380
ベンチマーク	\$204	\$46	\$50	\$54	\$54
比率	9.9	8.3	12.7	11.7	7
t-検定	8.7	4.9	5.9	6.9	9.7
H0: 平均費用 = ベンチマーク	P<0.000+	p<0.001	p<0.000+	p<0.000+	p<0.000+

ベンチマーク費用は、提案された意思決定ルールのシミュレーションからもたらされた最小費用と、実験における最適成果についての上限推定値である。



上段:注文、下段:在庫(下から上へ、小売店、二次卸、一次卸、工場)。Y軸のメモリは10ケース。
顧客の注文の変化が小売店から工場へと伝搬するに連れて生ずる振幅・増幅・段階遅れに注意すること。

図4 典型的な4実験の結果

1.振動 全ての実験の特徴は、不安定性と振動である。注文と在庫は、大きく増幅された変動に支配され、初期の在庫水準に戻るまで平均21週を要する。実にほぼ全ての実験で、小売店の在庫水準が低下し、これに続いて、二次卸、一次卸、工場の在庫が次々と低下するベンチマーク費用は、提案された意思決定ルールのシミュレーションからもたらされた最小費用と、実験における最適成果についての上限推定値である（図4）。在庫が低下すると、被験者は注文を増加させる傾向にある。「実効在庫（effective inventory: 受注残を差し引いた在庫）」は一般に極端な負値で、これはセクタに受注残のあることを示している。最大受注残の平均は35ケースで、20週と25週の間に発生している。追加製品が醸造され出荷されると、在庫水準は急増する。いくつかの実験では、在庫は初期水準を超過している。在庫のピークは平均40ケースで、25週と30週の間に生じている。注文は、在庫が上昇するに連れて急速に落ち込む。

会社名と役割	θ	α_s	β	S'	R^2	RMSE
Bassbeer社						
小売店	0.9	0.1	0.65a	20a	0.2	3.13
二次卸	0	0.25a	0.50a	27a	0.86	1.99
一次卸	0.15	0.05a	0.35	14	0.74	2.76
工場	1.00a	0.65a	0.40a	15a	0.84	4.56
.
.
.
Gizzly社						
小売店	0.05	0.30a	0.65a	31a	0.58	1.88
二次卸	0.3	0.20a	0.35a	27a	0.82	2.32
一次卸	0.15	0.05	0.25	15	0.32	7.47
工場	0.55a	0.65a	0	9a	0.75	5.93
.
Suds社						
小売店	1	0	N/D	N/D	0.76	0.85
二次卸	0.05	0.30a	0.20a	20a	0.76	2.23
一次卸	0.15	0.60a	0.35a	0	0.69	5.19
工場	0.40a	0.35a	1.05a	32a	0.95	2.06
.
最小値	0	0	0	0	0.1	0.83
最大値	1	0.8	1.05	38	0.98	7.47
平均	0.36	0.26	0.34	17	0.71	2.86

N/D:未定義。

[有意水準]a:0.005, b:0.01, c:0.025 (パラメータ≡0でなければならないので、片側検定)

表4 推定パラメータ（[誤者注]11実験内の一部のみを掲載）

2.増幅 注文の増幅や変動は、顧客から小売店へ、さらには工場へと一様に増加していく。工場でのピーク時の注文レートは、小売店でのピーク時の注文レートの2倍以上である。顧客の注文は、週4ケースから8ケースに増加するが、このかく乱が工場に伝搬するまでには、注文レートは平均週32ケースで、増幅率は700%である³。在庫の振幅においても、増幅は明らかである。工場の在庫の平均期間や振幅は、一次卸や二次卸と比べるといくぶん少ない。工場は、専ら生産者であり、ビールを取得する場合の遅れは、他のセクタに比べるとより短く一定である。このため、より早くより確実に在庫の乖離を補正できる。このような結果の微妙な違いは、業務のフィードバック構造が被験者の行動を形成する範囲を説明する。

3.位相遅れ 注文レートは、小売店から工場へと注文レートが動くに連れて、遅れながらピーク

を迎える傾向にある。まず顧客の注文は、5週に4ケースから8ケースへと増加する。次に小売店の注文は、平均的に16週を過ぎてからピークになる。工場の注文は、それよりももっと遅れ、20週を過ぎてからピークになる。このような位相遅れは驚くに値しない。なぜなら、顧客の注文のかく乱は、意思決定や注文の遅れを通じて、小売店から二次卸へ、さらには次へと伝搬しなければならないからである⁴。

このように、被験者の行動は、最適とは明らかにほど遠いとはいいうものの、その行動は重要な規則性を示している。つまり、被験者は注文の決定において相互に良く似たヒューリスティックを用いたと考えられるのである。振動がすべてに見られることとその質的な類似性は、特に注目に値する。なぜなら、顧客の注文レートという唯一の外部からのかく乱は振動していないのであって、まさに定数そのものだからである。したがってこの振動は、被験者の意思決定とシステムのフィードバック構造との相互作用から内生的に産み出されているのである。サイクルの発生原因についての説明や、サイクルの期間および增幅の決定要因についての説明は、ダイナミックな意思決定行動に関するいかなる理論にとっても重要な課題である。

5. 理論の検証

次に、意思決定ルールを、ビールゲームの詳細事項に合わせて、パラメータ推定に適した形式へと当てはめていかなければならない。実験では、ストックSは被験者の実効在庫に対応し、供給ラインSLは、郵送遅れの注文、(もしあるとすれば) 被験者の供給者からの受注残、それに出荷遅れのビール、の合計に対応する。損失レートは、各被験者が注文を受けるレートである。このルールを検証するためには、期待損失、望ましいストックS*、望ましい供給ラインSL*、を明確にする必要がある。

ストックからの期待損失とは、被験者のそれぞれの顧客が注文するであろうと被験者が予測するレートである。つまり、小売店であれば顧客の注文レートについての予測、工場であれば一次卸の注文レートについての予測、等がこれに当たる。ここでは、適応的期待の仮定が妥当である。適応的期待とは、経済システムのシミュレーションモデルの構築に広く用いられ、集計における期待の進化に関する一つの良いモデル (Sterman 1987b, Frankel and Froot 1987) であり、変化するプロセスに適した期待の内では最も単純な定式化の一つである。

理論によれば、配送や受注に関する費用関数と期待変量とを所与とすると、望ましいストックは期待費用の最小化のために選択されなければならない。しかし、被験者は最適在庫水準の決定に必要な時間も情報も持っていない。費用関数の非対象性から、望ましい在庫は0以上でなければならない。しかし、最適在庫水準を計算する手順がないので、被験者のS*の選択は初期水準12ケースに投錨されると期待される。この仮説を次に検証する。

一般に、望ましい供給ラインは、変化し、受注の際に予測された遅れに依存する。しかし被験者は、受注の際にその時点の遅れを決定する手段を持たない。この遅れは決して4週以下にはならないが、受注数を満たすほどの在庫をもし供給者が持っていないならば、遅れはもっと長くなる。したがって、望ましい供給ラインSL*は一定と仮定される。

方程式(3)～(7)で示した一般的な意思決定ルールは、次のようになる。

$$Ot = \text{MAX}(0, t + ASt + ASLt) \quad (8)$$

$$t = \theta Lt - 1 + (1 - \theta)t - 1 \quad 0 \leq \theta \leq 1 \quad (9)$$

$$ASt = \alpha S(S^* - St) \quad (10)$$

$$ASLt = \alpha SL(SL^* - SLt) \quad (11)$$

ここで S^* と SL^* は定数である。 $\beta = \alpha SL / \alpha S$ および $S' = S^* + \beta SL^*$ と定義して、項を整理し追加的かく乱項 ε を加えれば、次のようになる。

$$O_t = \max[0, t + \alpha S(S' - St - \beta SLt) + \varepsilon t] \quad (12)$$

ここで注意すべきことは、 S^* 、 SL^* 、 αSL 、 $\alpha S \geq 0$ であるから $S' \geq 0$ である。さらに、被験者は、在庫それ自体よりも供給ラインの方を強調するようなことはしそうにない。なぜなら、供給ラインは、費用関数には直接的には入らないし、在庫ほどには重要でないからである。したがって、恐らく、 $\alpha SL \leq \alpha S$ つまり $0 \leq \beta \leq 1$ 、と考えられる。そうすると β は、考慮されるべき供給ラインの乗数と解釈される。もし $\beta=1$ であれば、被験者は供給ラインを十分に認識しており注文過剰は生じない。もし $\beta=0$ であれば、注文中の商品は無視される。

この意志決定ルールは、4つの推定パラメータ ($\theta, \alpha S, S'$ および β) からなっており、非線型である。かく乱項 ε はガウスのホワイトノイズを仮定している。この場合、最尤推定値は、誤差平方の合計 $\sum e^2 t$ の最小化によって見つけられる。このような非線型モデルの推定パラメータは相互に矛盾なく漸近的に有効である。また t 検定のような通常の有意性の測定は漸近的に有効である (Judge et al. 1980)⁵。ダービン-ワトソン検定では、44実験のうち23実験で誤差について有意な自己相関は示されなかった。モンテカルロシミュレーションでは、この推定手順は、 $\rho=0.9$ という高水準のかく乱に対しての自己相関によっては著しく劣化しなかった。

表4には、推定パラメータ、R 2、誤差平方平均の根(RMSE: root mean square errors)を示している。平均R 2は71%で、50%以下は44実験の中でわずかに6実験である。推定パラメータの大多数は有意である。わずかに7つの αS 、4つの S' 、15個の β が、0から有意なほどには乖離していない。もちろんこれらの推定パラメータはいずれも合法的に0を取りうる。事実、0は、26個の有意でない推定値の内で14個の推定値となっており、これらの推定値の標準誤差は、平均するとその他のサンプルにおける推定値に比べて小さい。しかし、推定値 θ の3分の2は有意ではない。期待形成プロセスがこれらの被験者に誤って述べられているかどうかを判断するためには、受注数についての変量が不十分のようである⁶。

さらなる検証のために、推定パラメータからなる各セクタごとの意思決定ルールを用いてゲームをシミュレートした。注意すべきことは、各セクタの費用は、そのセクタの行動だけでなく、流通連鎖における他の全てのセクタに依存することである。つまり、連鎖全体のパラメータ $\theta, \alpha S, S'$ および β からなるベクトルに依存するのである。もしこのルールが完全であるならば、シミュレートされた費用と実際費用とは等しくなり、実際費用に対するシミュレートされた費用の回帰は1単位の勾配になろう（括弧内は t 検定）。

$$\text{費用 } i,j = 1.11 * \text{シミュレートされた費用 } (\theta_j, \alpha S_j, S'_j, \beta_j) \cdot i;$$

$$(16.7) \quad i = \text{小売店, 二次卸, 一次卸, 工場} ; j = 1, \dots, 11, \quad (13)$$

$$N = 44, R^2 = 0.40$$

この勾配は、1単位からの標準誤差の2倍よりも小さく、極めて有意であり、実際費用とシミュレートされた費用とのすばらしい一致を示している。

しかし、ここには穏やかなブートストラップ効果 (bootstrapping effect) がある。つまり、被験者をその行動モデルで置き換えるとパフォーマンスが向上するのである。平均向上率は実際費用のおよそ5%である。このような向上は、被験者それ自身では週ごとにしばしば注文を変更して高頻度なノイズをもたらす（図4）のに対して、行動モデルでは意思決定ルールに一貫性があることから生じている。このブートストラップ効果の大きさは、ブートストラップの先行研究で発見された効果の大きさと比較できよう（Camerer 1981のレビュー）。但し、これらの研究は臨床判断の線型モデルであって、重要なフィードバックやダイナミックスは一般には含まれていない。本

稿の実験で見られた向上は、実際の企業の在庫管理データに対し良く似たルールを適用した Bowman(1963)の結果とよく一致している。

6. フィードバックの誤認

このような結果は、ここで提案したヒューリスティックを被験者が在庫管理のために用いているという仮説を支持する。しかし、ここでいくつかの問題点を述べよう。推定パラメータは、被験者の極めてひどい逆機能的なパフォーマンスに関する原因についての一体何を明らかにするのであろうか。被験者は、自らが経験したダイナミックスをどのような原因へと帰結させるのであろうか。さらにまた、原因についての帰結が、学習に対する潜在性にどのような影響を及ぼすのであろうか。最後に、被験者は、このような悪いパフォーマンスを産み出すルールをなぜ用いるのであろうか。この実験で得られた結果からは、シミュレートされた環境のフィードバック構造についていくつかの特徴的な誤認を明らかにしている。こういった誤認こそが、被験者の悪いパフォーマンスの原因となっているのである。

望ましいストックの選択における投錨

それでは被験者は、どのようにして望ましいストックを選択するのであろうか。このシステムは複雑で時間的にも制約があることから最適在庫水準の計算は不可能であるので、被験者の S^* の選択は初期水準12ケースに投錨されると仮定される。定義により $S' = S^* + \beta SL^*$ であるから、 S^* および SL^* は、 S' に関する β の推定値の回帰によって次のように推定される。

$$S' = 13.9 + \beta * 8.4, N = 40, R^2 = 0.09 \quad (14)$$

(6.9) (2.8)

R^2 の低い値が示すように、 S^* と SL^* の個々の差は S' の分散の大部分を説明する。 SL^* の推定値は10%水準で有意であり、以下で考察する。望ましいストック S^* の推定値は、 $\beta = 0$ の時の S' の値であるが、初期水準12ケースからは大きくは違ってはない。つまり、最適在庫を決定する計算をしない場合には、被験者は頑固にその初期水準に投錨するようである。

時間遅れの誤認

振動の発生原因を理解するためには、発注して注文を受け取るという、いわゆる、供給ラインの長い時間遅れを被験者がどのように処理しているかを考察する必要がある。得られた結果からは、ほとんどの被験者は供給ラインを十分に考慮できなかったことを示している。その論拠は2つある。まず第一に、方程式(14)の SL^* の推定値が小さいことから、発注して注文品を受け取るまでの遅れを被験者が過小評価していることを指摘できる。適切な取得遅れを確保するためには、供給ラインは、ビール取得における遅れに比例しなければならない（方程式(7)）。取得遅れは、決して4週（工場では3週）以下にはならない。たとえ需要（および望ましいスループット）に対する被験者の期待値が初期水準4ケースのままであったとしても、必要とされる供給ラインは推定値8.4ケースよりもはるかに大きい16ケースとなろう。結局のところ、望ましい在庫水準の達成に十分な程のビールを、被験者は供給ラインに確保できていなかったようである。

さらに重要なことは、 β の推定値で示されるように、被験者が供給ラインそれ自体に対して反応する範囲である。 β の最適値は1である。つまり、過剰注文を阻止するためには被験者は供給ラインの中の商品を考慮しなければならない。しかし、 β の平均値はちょうど0.34である。わずかに5人の被験者（11%）のみが、供給ラインの3分の2以上を考慮したに過ぎない。その結果が、注文過剰と不安定性である。例えば、Grizzly社の工場（図4、 $R^2=0.75$ ）を考察して見よう。多くの実験では、一次卸は15週辺りで実質的により多くの注文を出し始める。この注文は、工場の

在庫を減らし、受注残を増し、さらには、工場ではより多くの生産へと駆り立てる。しかし、Grizzy社の工場では $\alpha S = 0.65$ 、 $\beta = 0$ である。つまり、被験者が供給ラインを完全に無視して S' と S の差の3分の2を毎週注文したのである。工場の供給ラインは3週間であるから、被験者は、次の3週間のために、ストック不足分の3分の2を毎週注文する。それも注文品を受け取る前に注文するため、結果的には、2つの要因が相乗的に影響を及ぼして過剰注文を生じさせる（[訳者補足] 2つの要因とは、供給ラインを無視したこと、ストック不足分を毎週注文したこと、である）。こうして、工場の注文は18、19週に50ケースのピークに達し、同時に受注残も最大になる。それから在庫は望ましい水準に向かって上昇し始め、それと共に被験者は注文を減らす。しかし、パイプラインの中にすでにある注文品は上昇し続け、最終的には在庫を69ケースというピークに膨張させる。一次卸もすでに超過在庫となっているので（一次卸では $\beta = 0.25$ ）、25週目以降には工場への注文はちょうど週平均5ケースへと直下降する。その結果はというと、工場では高水準の在庫を抱えたままなすすべもなく大変なフラストレーションでこの実験が終わるのである。工場の注文ポリシーは、一次卸の注文を大きく増幅させる。注文が4ケースから20ケースに増えれば、工場はこれに反応して4ケースから50ケースへと注文を増やすのである。この増幅率は290%である。工場の注文ポリシーは、供給ラインを無視することによって極めて不安定になるのである。

Suds社の工場（図4、R 2=0.95）はこれとは対照的である。ここでは $\beta = 1$ 、 $\alpha S = 0.35$ で、被験者は供給ラインを完全に考慮に入れて在庫の差の35%を毎週補正しようとしていることがわかる。Suds社の工場では、供給ラインを考慮したために、受注残が最大になるより前に注文がピークを打って下降している。これはつまり、被験者が、この問題を補正するために十分なほどの注文品がすでにパイプラインの中にあることを認識していたからである。事実、Suds社の工場は、このシステムを安定化させている。つまり、増幅率は85%で、工場の注文ポリシーは、需要ストックを悪化させるどころか、低下させているのである。

ダイナミックスについての「オープンループ」の観点からの説明

ゲームの最後には、被験者に省察（debriefing）を求める。感情は高まり、大多数はこのシステムをコントロールできなかったことに不満を表明する。多くは無力感を述べる。つまり、自分のコントロールできない諸力のなすがままであったと感じるのである。続いて被験者に、顧客の注文パターン、つまり、顧客の注文カードの山の中を推定して描いてもらう。ただ小売店だけが、顧客の需要を直接知っている。図5は、推定された典型的なパターンである。被験者の大多数は、常に、顧客需要は振動したと判断する。つまり、初期水準週4ケースから12ケースあるいは40ケースあたりのピークへと上昇し、週0ケースから12ケースあたりへと下降したと判断するのである。工場や一次卸は変化を一番大きく描き、一次卸は変化をより小さい描く。ほんの少数が、顧客の注文は本質的に一定であったことを示唆するにすぎない。顧客の注文についての被験者の判断は、ゲームで自分が経験したことを反映している。つまり、「結局のところ、顧客の注文は現実に変動する」ということをまさに経験したのである。いやむしろ、こういった信念が、経験となって現れているのである。多くの被験者は、自らが経験したダイナミックスの発生原因を外的な事象へと帰結させる。そして、自分達の悪いパフォーマンスの原因を、顧客の注文のあまのじやくなパターンへと転嫁する。つまり、顧客が注文を増やしたので、被験者は追加のビールをどんどん注文したが、まさにビールが出来上がったその時に突然、顧客は注文を止めてしまった、と考えるのである。そして、多くの参加者は、顧客の注文パターンが明らかにされると、非常にショックを受ける。まさに信じられない、という叫び声も聞かれる。しかし、誰も、自分自身の決定それ自体が自らの経験した行動の発生原因であったとは言わないし、ましてや、このゲームにおけるフィードバック構造、時間遅れ、ストックやフローの構造、といった観点からこの変動パ

ターンを説明しようともしない。

ほとんどの被験者は、このダイナミックスの発生原因を、説明される事象と時間的空間的に密接に関連していると自らの信じる外生変数へと帰結させる。このような説明の仕方は、ダイナミックスの発生原因についての「オープンループ」の考え方である。このような考え方には、変化が意思決定者とその環境との内的相互作用から生じる、という説明の仕方とはまったく逆の考え方である。経験からの学習は、ダイナミックな行動の発生原因についてのこのような誤認によって妨害されているのかも知れない。被験者に、パフォーマンスはどうすれば向上できたであろうかという質問をするとすれば、多くの者は、顧客の注文についてのより良い予測を要請するであろう。このように、オープンループによる誤った考え方によってダイナミックスの発生原因を外的な事象へと帰結させてしまうために、被験者の学習努力は、システムの中に存在する強力なレバレッジポイント（ストック管理ポリシー）から遠ざけられて、むしろ、外的なショックの予測とそれに対する反応といった方向へと向かわせられるのである。より良い予測は、役には立つであろう。しかし、パフォーマンスの向上のキーポイントは、システム管理のために各人が用いるポリシーの中に存在しているのであって、決して外的環境の中には存在していないのである。たとえ完全な予測であっても、供給ラインを無視する管理者であれば過剰注文を阻止することはできないであろう。

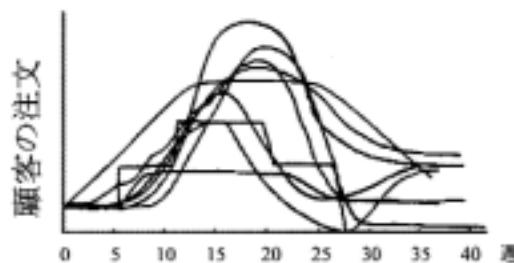


図5 実験後に被験者が推定する「顧客の注文」についての典型的な例
注：実際の顧客の注文（図4）と比較のこと

7. 検討および結論

フィードバック構造が豊かとは言っても、実験は、現実世界に比べれば非常に単純化されている。それでは、実験条件やその結果はどの程度妥当なのであろうか。まず、もし顧客の注文がノイズや季節変動などから構成されたより現実的なパターンであれば、被験者の行動は異なっていたであろうか。多くの被験者の注文決定には、事実、ノイズや周期があった（図4）。したがって、こうしたノイズを引き起こす被験者の上流に位置する被験者は、現実的な注文を経験した。このような被験者の行動は小売店の行動と統計的に異なってはいないのであり、したがって、ステップ入力を用いることが結果の一般性を減じるものではない。

より基本的なことは、実験行動の主たる特徴が現実の生産流通システムにおいて観察されるか、ということである。現実経済の生産流通ネットワークは、振動、小売販売から主生産までの増幅、位相遅れ、というこの実験で発生したような3種類の集計行動を示すことが長い間認識されてきている（T. Mitchell 1923, Hansen 1951, W. Mitchell 1971, Zarnowitz 1973）。それでは一体、現実経済における管理者は、実験での被験者を苦しめるフィードバックの誤認の犠牲者となりうるのだろうか。現実には、管理者は実験で利用するよりも多い情報にアクセスする。知恵を集めて熟慮す

る時間も長く、意思決定支援も利用されよう。しかし一方、現実世界では、情報はしばしば陳腐化し、ノイズもあり、矛盾し、あいまいである。管理者は、時間的に競合する要請をやり繰りし、注文商品の数量以外にも多くの追加的な意思決定をしなければならない。コンサルタントとモデルは、認知的情報的時間的に全く同じ制約を受けており、対立する可能性のある多くの立場や情報源を統合するような高等数学的計算方法は存在しない。

現実のストック管理のコンテクストでは管理者は本稿で提案した投錨と調整型ヒューリスティックのようなルールを用いている、という仮説は、意思決定業務との同等性を主張しているのではなくて、現実でも実験でも最適量の決定は意思決定者の能力を越えているという少し弱い立場を主張している。このルールの長所は、単純さにある。システムについてのダイナミックスや一般的な均衡についての知識を必要としないからである。このルールは自己調整的である。つまり、このルールのフィードバック構造により、予測エラーや環境構造の変化や自己生成された過剰反応さえも結局のところ確実に補正されるのである。ベンチマーク費用（図2）から分かるように、合理的なパラメータからなるルールは良い結果をもたらしている。Sterman (1987a) で議論されたように、この意思決定ルールはストック管理の手続きについての本質的な最低限の特徴を捉え現実の意思決定を良く特徴づけている。つまり、期待損失の代用、望ましいストックと現実のストックとの差の補正、未入荷の注文品からなる供給ラインの考慮、といった本質的な特徴をこのルールはうまく捉えているのである。

もちろん、個々の管理者は注文中の商品を無視してはいない。現実経済での問題は、集計の問題である。ストック管理の状況についての多くの事例では、集計された供給ラインは個別の競争業者の中に分散しあいはほとんど何も知らされない。興味深いことに、農産品、商用建築物、機械用具、電子部品やその他の耐久商品のような不安定性になりがちな市場の多くは、投資実現までの著しい遅れ、計画についての不完全な知識、コミットメント、それに、参加者の未決定の投資、などで特徴づけられる (Meadows 1970, Hoyt 1933, Commodity Research Bureau, various years)。供給ラインに関する仮説検証は、個々の企業の意思決定プロセスに焦点を当てるだけでなく、供給ラインの情報について、利用可能性、タイミングの良さ、重要性、知覚された正確性、にも焦点を当てた一層の実証研究が必要である。

ここで、このストック管理ヒューリスティックの頑強さ (robustness) を解明しよう。初期の実験では、このヒューリスティックをマクロ経済学のコンテクストで検証した (Sterman 1987a, 1989)。被験者は、模擬的な乗数加速経済での資本投資決定に責任を持った。このマクロ経済は、ビールゲームの複雑な構造、多数のプレイヤ、タイムプレッシャ、といった特徴と比べれば、かなり単純であった。被験者は完全情報で、他に考慮すべき参加者はなく、費用関数は対照的で、時間の制約はなかった。しかし、ビールゲームの場合と同様、その結果は提案されたルールを強く支持するものであった。このルールは、被験者の意思決定の偏差の平均85%を説明し、推定パラメータは全般的に高度に有意であった。またビールゲームと同様、パフォーマンスは明らかに副最適 (suboptimal) であった。被験者は、振動の全く無い入力に反応し、大きく増幅されたサイクルを創出した。これらが同じフィードバックの誤認であることは明らかであった。特に被験者は、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対しては無関心であり、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なかった。

ここで研究したストック管理業務は広く適用できるが、こういったフレームワークでは描けない多くのダイナミックな意思決定業務がある（例えば、価格設定行動）。しかしながら、得られた結果から指摘できることは、さまざまなシステムにおいて明らかに合理的な意思決定プロセスからどのようにして意図されなかった逆機能的な結果が引き起こされるかの説明（例えば、サタデ

一イブニングポストや他の組織についてのHallの説明(1976,1984)。[訳者補足]STELLAによるサタデーイブニングポストのHallのモデルは、Clark, Thomas D. and Hironori Kurono, "A Conversion Table of DYNAMO into STELLA II or ithink," 九州国際大学経営経済論集、1997年3月、第3巻第3号、pp.26-46にある。)には、ここで用いられた方法は有用であろう。Morecroft(1985)は、シミュレーションモデルにおける意思決定ルールの意図された合理性を検証するため、シミュレーションの活用を提案している。本稿の実験アプローチは、現実の管理者の意思決定プロセスを直接研究することを可能にし、こういった意思決定ルールをパフォーマンスへと関連づける一つのテクニックを提供しているのである。このテクニックの規範的な活用も有望のようである⁷。

これから研究は、本稿の実験手法を他のダイナミックな意思決定業務に適用すべきであり、ヒューリスティックスのパラメータが修正されるプロセスや、ヒューリスティックスそれ自体が学習や市場の選別圧力によって置換されるプロセスを考慮すべきである。Tversky and Kahneman (1987) およびHogarth (1981)は、不十分な結果フィードバック (outcome feedback) が学習や有効性を妨害するような経路を強調してきた。しかし本稿の結果から指摘されることは、結果フィードバックだけでは十分ではないということである。つまり、変化の発生原因を外部要因へと帰結させてしまう人々のメンタルモデルそれ自体が、困難をもたらす真実の発生原因から自らを遠ざけているのである。それゆえに、パフォーマンスを向上させようとする努力はレバレッジとしての力をほとんど持たないし、また、経験は即座にはメンタルモデルを向上させないので、結果的に逆機能的なパフォーマンスが持続するのである。

このような結果は、ダイナミックな意思決定についてこれまでの研究を強化拡張する (Brehmer 1987, Hogarth 1981, Kleinmuntz 1985, MacKinnon and Wearing 1985, Remus 1978)。意思決定戦略の有効性と頑強さは、ただ単に結果フィードバックを活用できることに依存しているだけでなく、意思決定と環境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 (action feedback : 補足参照) の特質にも決定的に依存しているのである。あるヒューリスティックスは、ある設定においては安定行動を示すかも知れないが、他の設定では、埋め込まれたフィードバック構造の関数として振動を示すかも知れない。この構造は、ストックとフローの構造、情報ネットワーク、時間遅れ、非線型性、といった組織を特徴づける諸要素から構成されている。まさに外的環境が一定であるにも関わらず発生する振動の大きさは、活動フィードバックがダイナミックスの生成において強力な役割を果たしていることを示唆するものである。さらに指摘すべきことは、(個々の被験者が特徴づけられたさまざまなパラメータで表される) 各人の反応が広範囲かつ多様であるにも関わらず、個別チームの質的な行動は極めて類似していることである。その結果、組織の集計的ダイナミックスは、個々のエージェントの意思決定プロセスに対して比較的に無反応となろう。このことは、個々の意思決定とフィードバック構造やダイナミックスに関する理論とを統合する調査手法に関して、記述的な研究と規範的な研究とが共に重要であることを示唆するものである。この意味で、人間システムというミクロの構造からマクロの構造を内生的に生成することを説明する検証可能な理論を究極的には構築することを目指した「個々の行為者のレベルをシステム行動のレベルへと展開する機構」においてその有用な一部分を形成していくために、実験手法がどのようにしてシミュレーションと結合されるかということをここで得られた結果は明らかにしているのである⁸。

注

† Copyright 1989, The Institute of Management Science(currently INFORMS), 290 Westminster Street, Providence, RI 02903 USA. 原論文は、Sterman John D., Modeling Managerial Behavior: Misperceptions

of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment,*Management Science*, Vol.35, pp.321-339, March 1989である。

原論文は前部門編集者Robert L. Winklerが1987年9月21日に受理した。著者は3ヶ月間に1回修正した。

[執筆当時の著者紹介：出典*Management Science*, Vol.35] MITスローン経営学部准教授。ダートマス大学から文学士、MITからPh. D. が授与される。主たる研究領域はSDで、特に、企業行動や経済行動のシミュレーションモデルと行動的意思決定論との連結に関心を持つ。最近の研究には、ダイナミックな意思決定についての実験研究でのシミュレーションモデルの利用、人間システムにおける決定論的カオスの存在と意味、がある。発表論文は、*Management Science*, *Behavioral Science*, *International Journal of Forecasting*, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *System Dynamics Review*, *Technological Forecasting*, *Social Change*等に掲載。

本翻訳の出版は、第13回システムダイナミクス国際会議（学習院大学：1995年7月30日～8月4日）に出席されたMITスローン経営学部スターマン教授より承諾を得た。また、国際システムダイナミクス学会日本支部第50回定例研究会（同年12月18日）で本翻訳の初稿を報告する機会が与えられ、貴重なご助言を得た。関係各位のご厚情に深くお礼申し上げます。

尚、本翻訳の刊行に当たり、著者よりEメールで次のメッセージが寄せられた：「本稿は、私と学生がこの十年間で実施した最初の実験研究である。これらの一連の実験研究がマネジメントに与える重要性については、拙稿"Learning in and about complex systems" (*System Dynamics Review*, 10[2-3]:277-330, SUMMER-FALL 1994)に非常に良く要約されている。本稿は、今日でもなお、私が提案してきた問題点と示唆について記した最高の論文である。(1996年10月22日)」

† † 山田善靖先生より"anchoring and adjustment"の定訳「投錨と調整」をご教授頂いた。参考：佐伯胖著 認知科学選書10「認知科学の方法」（東京大学出版会）65頁。

† † † SDにおける"performance"概念の訳出は極めて難しいが、検討の結果「パフォーマンス」とした。参考：「ここで“ふるまい(performance)”というのは、システムの動きの”望ましさ”を示す特性、すなわち、利潤性、雇用の安定性、市場占拠率、製品コスト、会社成長、価格変動、必要な投資、手持現金の変化といったシステムの目安をさす。」(J. W. フォレスター著、石田晴久・小林秀雄共訳「インダストリアル・ダイナミクス」、1971年、紀伊国屋書店、第13章の注1、174頁。)。尚、島田俊郎先生・亀山三郎先生より、理工学の分野では"performance"が「性能」と訳され、会計学では"performance evaluation"が「業績評価」と訳されていることをそれぞれご教授頂いた。

† † † † 西條辰義先生より"Experimental Economics"の定訳「実験経済学」をご教授頂いた。参考：西條辰義著「書評：ジョン・D・ハイ編『実験経済学』」、『経済研究』、vol. 48, No.3, Jul. 1997, 283-284。

1 実験経済学のためのプロトコル（例えば、Smith 1982）では、成果にふさわしい金銭的報酬を要請している。しかし、多くの実験から、高い報酬水準は成果を著しく高めないか、あるいは、悪くする（例えば、Grether and Plott 1979, Slovic and Lichtenstein 1983, Tversky and Kahneman 1981）。ここでは被験者は1ドルを賭け4ドルを得るチャンスがある。僅かな賞金だが、この報酬で、チームの総費用最小という目標を強調し、強力な動機づけ効果をもたらそう。

2 探索空間の削減のため、各セクタでは同じパラメータを用いた。最適パラメータは $\theta = 0$, $\alpha s = 1$, $\beta = 1$, $s' = 28$ (工場は20)。

3 増幅は、閉ループ増加に関する荒い尺度で、入力変数の偏位に対する出力変数の偏位として測

定される。ここでの場合は、 Δ （工場の注文） $\neq\Delta$ （顧客の注文） $= (32 - 4) \neq (8 - 4) = 7$ となる。

4 小売店と二次卸、一次卸と工場の間には、はっきりとした遅れはない。これは、被験者が、そのセクタ以外の情報を利用していることを示すものであろう。

5 推定値は、制約条件 $0 \leq \theta \leq 1$ および $\alpha S, S', \beta \geq 0$ のパラメータ空間の格子状検索で見つけられた。 $\theta, \alpha S, \beta, S'$ は、それぞれ0.1, 0.05, 0.05, 1単位であった。検索空間は $\Sigma e 2t$ のグローバル最小値を得るに十分なほどの大ささであった。データとコンピュータプログラムは著者から入手できる。注文関数は回帰定数を含まないので、残差は $\Sigma e t=0$ を満たさないし（推定注文と実際注文は共通の平均を持つ必要がない）、伝統的なR₂は適合性についての適切な尺度ではない。代わりに、R₂=r₂を用いる。r₂は、推定注文と実際注文の単なる相関である（Judge et al.1980）。

6 θ は、Ltとtが異なる時だけに認識される。tはLtに近づき続けるので、 θ の厳密な推定には、各週の受注数の変量が大きいことを要する。しかし、小売店も他のセクタも受注数の変量は極めて小さい（小売店は一定数の受注であったことを思い出して欲しい）。事実、 θ の6つの最大標準誤差は小売店である。ゆえに、顧客の需要の期待値がそれぞれの被験者の過去の注文に適応するという仮説は、棄却されない。サンプルの3分の1が支持される。

7 進行中の研究の中に、保険会社のために良く似たゲームが開発されている。ビールゲームと同様に、類似の低いパフォーマンスや誤認が生じる。管理者の意思決定ルールのパラメータを推定した後の訓練セッションでは、悪いパフォーマンスの原因をめぐって議論を深めていく。このような訓練は、フィードバック構造についての被験者のメンタルモデルを向上させることによって、より適切なヒューリスティックを管理者が開発していくことに役立つであろう。

8 John Carroll, Richard Day, James Hines, Robin Hogarth, Don Kleinmuntz, Robert Winklerを始め匿名のレフリーのコメントに心より感謝します。Daniel Ryuにかけがえのない助力を得た。

補足 第13回システムダイナミックス国際会議（トルコBogazici大学：1997年8月19日～8月22日）

でスターマン先生に“action feedback”をご質問し、Eメールで次の説明を頂いた：

「システムダイナミッ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。

システムダイナミックスでは、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ックスが変化しうるからです。」

参照 国際システムダイナミックス学会日本支部ホームページ「ビールゲーム」