

モデルが見えるとき

森戸 晋

1. はじめに：だまし絵の世界

ORの真髄は、言うまでもなくモデルとその解法に基づく問題解決である。モデルを単なる抽象の産物とみる人もいるが、本稿では世の中の問題解決のためのモデルを考え、現実の具体的な問題のないところにはモデルもないという立場から、だまし絵や似顔絵と対比しながら、かんばん方式を軸にしてモデルの側面を考えることにする。

図1のようなシンプルなものから複雑なものまで、だまし絵やかくし絵をご存知だろう。だまし絵同様、実世界のシステムには隠れているものがいろいろある。そのなかにはいつも見ているけれども実は見えていないものもある。だまし絵は人工的に作られたもので答があり、また、目の錯覚を利用して意図的に作られたものなのでいずれ答が見えてくることが多いのに対して、実世界は意図していないかくし絵の世界と考えられる。隠された構造、隠されたモデルを探し出すのがORワーカーの重要な仕事となる。

モデルが見えるには閾値がある。だまし絵も同じで、あるレベルに達しないと見えてこない。だまし絵は見えていたものが見えなくなったりを繰り返す点が興味



図1 だまし絵 (出典: Illusion Forum, NTT Communication Science Laboratories, <http://www.brl.ntt.co.jp/illusionForum/basics/art/index.html>)

もりと すすむ

早稲田大学 理工学部経営システム工学科
〒169-8555 新宿区大久保3-4-1

深い。が、実世界のかくし絵には簡単に見えないものが少なくない。モデルが見えるための閾値レベルは、センス・勘・経験・情熱・知識・ねばり等々、多くの要因の複雑な関数と考えられる。

2. かんばん方式

抽象化することによって、二つのシステムの構造的特徴に関する一種の等価性が(かつて筆者に)明らかになった例として、かんばん方式の例を挙げる。かんばん方式は、後工程引取り方式とかプル(pull)生産方式、引き型生産方式などの名前と呼ばれトヨタシステムの最も重要かつ有名なサブシステムの一つである。

実際は、工程内における生産を指示する生産指示かんばんと、工程間のものの移動を制御する引取りかんばんの2種類を基本として様々な変形があるが、ここでは、生産指示かんばんだけを考え、引取りかんばんは無視する。図2上のように、各工程には生産をつかさどる機械があり(短期的には)一定枚数のかんばんがまわる。実際のかんばんは、生産すべき品目や生産数量などが書かれた表示板にすぎない。

話を簡単にするために、1品種を考え、図2右端の「顧客」が完成品を引き取る場所から始めると、顧客が完成品を受け取る際に完成品についている第3工程のかんばんがはずされる。はずされたかんばんは、一旦かんばん回収箱に収められ、いずれ回収されたかんばんは、当該工程の機械に戻される。ここで、かんばんは生産指示の役割を果たし、かんばんの到着がか

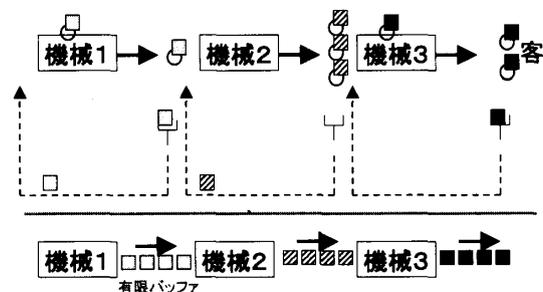


図2 かんばん方式と有限バッファ直列システム

んばんに指定された製品の生産指示となる。

かんばんが第3工程の機械に回ってくると、第2工程を完了した仕掛品をもとに生産を行おうとする。第2工程を終えた仕掛品についている第2工程のかんばんは、第3工程が仕掛品をとる際にはずされ、第2工程のかんばん回収箱に入れられ、いずれ第2工程の生産指示となる。一方、第3工程がとった仕掛品には、第3工程のかんばんがかけられ、生産が完了した完成品はかんばんが付けられたまま第3工程後に在庫される。いずれ、完成品が「顧客」によって引き取られるとかんばんがはずされ、第3工程のかんばん回収箱に収められる、という流れになる。

要するに、右端に位置する「顧客」が完成品を引き取ることによって、第3工程のかんばんが回り、それに伴って第2工程のかんばんが回り、さらに第1工程のかんばんが回り出す、という生産指示方式がかんばん方式である。このシステムは、各工程のかんばんの枚数を決めてしまえば、需要予測をせずに、各工程が独立、すなわち、自律分散的に動く、きわめて単純なシステムである。

2.1 有限バッファ直列システムとの等価性

かんばん方式は、より単純に見える機械間に有限なバッファが存在する有限バッファ直列待ち行列システム(図2下)と基本的に等価と考えられる。ここで、機械1が仕掛品の処理を終えたとする。このとき、機械1の後にある仕掛品4個分のバッファが満杯だと、処理を終えた仕掛品を機械から取り出すことができなくなって機械1がブロックされ、後続の処理を行うことができなくなる。このような現象を**ブロッキング**と呼ぶ。機械1の後のバッファに空ができると、処理を終えた仕掛品を機械1から取り出して後続のバッファに移せるようになり、ブロッキングが解消される。

かんばん方式(図2上)と有限バッファ直列システムを対比させてみると、直列システムのバッファをかんばん方式のかんばんとみなすことによって、両者の動きが基本的に同じ動きであることが分かる。後続のバッファの空きは生産指示、つまり、生産の青信号であり、後続の有限バッファが満杯のときは機械がブロックされているので生産しない/生産するな、つまり、生産の赤信号が出ていると考えられる。

直列システムは、単に後続のバッファが満杯になると機械がブロックされるシステムであり、これを生産指示方式と捉えるのは奇妙かもしれないが、二つのシステムが同じ動きをするという意味で等価と考えられる。なお、厳密にはかんばん方式と有限バッファ直列

待ち行列システムとはブロッキングのメカニズムにおいて完全に等価ではないが、本稿の趣旨からは、それらの細かい違いは重要でないと思筆者は考える。

2.2 「停滞」状態の分類

対象とするシステムを抽象化してそのエッセンスだけを捉えたときに、システムの「骨格」が現れてくることが多い。また、上の例のように、一見関係なさそうに見えるシステム間の相互関係が明らかになることが少なくない。

面白いのは、有限バッファ直列システムというどこにでもあるシステムとかんばん方式とが基本的に等価であるという点である。かんばん方式は故大野耐一が創案した方法と考えられているが、きわめて単純なシステムでありだれが考えついたとしてもおかしくない。実質的に同じ考え方に基づいて生産指示や在庫の制御を行っている人/会社があってもおかしくなく、ある友人は「うちの冷蔵庫のビールの管理はかんばん方式よ」と言うほどである。冷蔵庫のビールのポケットの空きは、すなわち発注指示という訳である。

トヨタとも大野耐一とも関係のないだれかがかんばん方式を採用していても不思議でないと考えられる一方で、一見当たり前のかんばん方式を生産指示方式として、しかもそれを一サブシステムとしてより総合的な生産管理システム、さらには、経営管理システムとして取り込んだトヨタや大野耐一は、決して当たり前ではないところが、かんばん方式やトヨタシステムの面白さ、凄さ、醍醐味である。

等価性に戻ると、両システムの動きは基本的に共通でありながら、共通性、等価性を見えにくくしている理由、隠している理由があると思われる。両システムにおいて、ものが流れない状態、すなわち、「停滞」状態を分類すると2種類あることが分かる。ものの流れの停滞は、入力側のインプット、すなわち、素材が存在しないことによる停滞と、かんばん/バッファがないことによる停滞の2種類がある(表1)。

素材はあるが、かんばんがないタイプ1の停滞は、かんばん方式では素材はあるものの生産指示がないの

表1 「停滞」状態の分類

停滞のタイプ	素材	かんばん バッファ	かんばん 方式	有限バッファ 直列システム
タイプ1	有	無	生産指示 なし	ブロッキング (Blocking)
タイプ2	無	有	品切れ (Shortage)	スターベーション (Starvation)

で何もしないでいい停滞である。有限バッファ直列システムでは、出力側のバッファが満杯であるために機械がブロックされて停滞するのがタイプ1である。これに対して、かんばんあるいはバッファがあるにも関わらず素材がないのがタイプ2の停滞であり、かんばん方式では原則としておきてはならない状態である。実際、かんばん方式の多くの実務的解説にはタイプ2の停滞については書かれていない。つまり、かんばんが回ってきたときに入力側の素材の欠如は品切れでありあってはならないことと考えられている。これに対して、タイプ2の停滞は、直列システムにおいては、入力側の素材がないので機械がただ待つ（スターベーション）ことになる。

ここで注目したいのは、ある意味で等価な二つのシステムにおいて、二つのタイプの停滞の位置づけが異なる点である。タイプ1の停滞は、かんばん方式では「生産指示がないので待つ」という通常の状態であるのに対して、直列システムでは「バッファに空きさえあれば、もっと生産できるのに」というブロッキングの状態である。これに対して、タイプ2の停滞は、かんばん方式にとってはあってはならない状態であるのに、直列システムでは「素材がないのだからやることがない」という状態である。つまり、両システムにとって、望ましくない状態がかんばん方式ではタイプ2の停滞、有限バッファ直列システムではタイプ1の停滞、というように逆転していることに注目したい。こう考えるとかんばん方式は、有限バッファシステムでは悪者と考えられるブロッキングを積極的に活用した生産指示方式と考えられる。

解析はORの得意とするところで直列システムのバッファの大きさを増やしていくとスループットは急速に極限值に近づく一方で、在庫や滞留時間が急激に増加することを定量的に調べられる。換言すればかんばん枚数を増やすことによってスループットが急速に向上するが、あるところから先は在庫量や滞留時間を増加させるだけで大きなスループットの向上が期待できなくなる。

かんばん方式はどちらかというと悪者と考えられがちなブロッキングを積極的に活用して、生産能力という意味では自分の首をしめながら、在庫や滞留時間が膨大になることを防ぐシステムである。悪者と考えられる停滞のタイプが異なることが、等価と考えられる二つのシステムの等価性に気づかせにくくしている一因なのではないだろうか。

3. モデル化の視点の多様性

かんばん方式と有限バッファ待ち行列との等価性は、図1のLIFEに近い、きわめて単純明快な関係である。実世界では、一般に複数の捉え方でシステムを最適にしようという可能性があるという意味でモデルやその解は一意に定まらない。その理由はいろいろ考えられるが重要な点は、我々が神ではなく人間の世界にいるかららしい。筆者は、トヨタシステムに関して前々から不思議に思っていたことがある。トヨタの問題解決法では、管理の水準と「問題」を川の水位と水中の石に例える話をよく聞く。問題が発生すると水面に石が顔を出す。そこで石（問題）を叩き潰す。さらに水位を落とす（管理水準アップに対応）と、別の石が水面から顔を出す。出てきた石を叩き潰し、また水位を落とし石を叩き潰し…というプロセスの繰り返しである。筆者の疑問はこのプロセスがいずれ川の水が干上がって終了しないかという素朴な疑問である。

これに対して数年前に筆者の学科OBの銀屋洋氏（当時日野自動車副社長；現トヨタ自動車技監）の講演で聞いた答は、神ならいざ知らず我々は人間だから必ず改善の余地が残っておりプロセスは永久に終わらないし、実際トヨタはそれを実践しているということであった。そんな訳で、情熱とかねばりといった人間臭さがモデルを見つけることとも無関係でなくなるのではないだろうか。

4. 似顔絵の世界

似顔絵は対象とする人物を正確に表現している訳ではないが、出来のよい似顔絵は人物の特徴をきちんとおさえている。似顔絵では、極論する、割り切る、ある見方を徹底させるのがポイントである。トヨタシステムも割り切って見方を徹底させた良い例である。

大野耐一がトヨタシステムの原型を考えた1950年前後はシステムが十分機能する状況が整っていたとは到底思えない。段取りも、処理時間や需要のバラツキも当初からシステムがうまく機能する状況にあった訳ではない。しかし大野耐一にはモデルが見えており、モデルとモデルに至る道のりが見えていたのである。

5. Joy of Modeling

だれにでもモデルは簡単に見えるのだろうか。ひらめきでモデルが見える傑出した人もいる。大野耐一がそうだし、私を除く本特集の筆者はそういう方々ばかり

りである（とはいえ、これらの方々の大半は実はすごい努力家でもある）、かといって筆者のようにモデルがほとんど見えない/簡単に見える訳ではない普通の人（ordinary people）もいっぱいいる。

では筆者を含め普通の人にモデルを追い求めるメリットはあるのだろうか。もっとも大事な答えはモデルが見えたときの感動を味わうとその味が忘れられなくなることである。喜びというより、歓びや悦びがふさわしい。モデリングは非常に“rewarding”なアクティビティであり、すでに先人の見たものであるかないかと関係なく、モデルが見えたときの感動・喜びを一度味わうと病みつきになる。不思議なことに、見ていたのに見えなかったものが人々に見え出す時期がしばしば一致する。ここにも閾値があって状況が整うとあちこちで見え出すところがおもしろい。

実世界はしがらみ（ORでは格好をつけて制約という）に縛られている。しがらみの中で普通の人にモデルが見えるようになるにはどうしたらよいか；常識的だが、1) 徹底的に対象のシステムを見て、知り、考え抜く、2) 視点を変えていくつかのモデルで遊んでみる（自由に遊んでいいところがモデルの素晴らしさの一つである）、3) 必ずしもしがらみをすべて取り込まなければならないと考える必要はないかもしれないことを認識する、4) 解法に関する情報チャンネルを確保する、あたりだろうか。

幸か不幸かモデルができて解けないことがあるというのがORの面白いところであり苦しいところでもある。ただ、苦しさを楽しみとする人がORの世界には多数いるので心配はやめよう。最適化の世界はソフトウェアやPCが大幅に進歩したので、ますます規模の大きな問題が解ける。しかし、ここにも落とし穴が潜んでいる。大規模な問題が解けること、そして大規模な問題を解くことは悪いことではない。しかし、突然、解法が牙をむくこともある。

解法に牙をむかせないためにはどうすればよいだろう。理論的には多項式解法の存否と関係することが多い。解法の工夫が多々知られているので、自分でできなければ解法に関するアドバイザを身近に置くよう努めればよい。助けになろうという人も少なくないはずである。

解けるかもしれないといって安易に問題の規模を大きくすることは避けたい。そうしないと、単に数値的に解けなくなるリスクを高めるだけでなく、見えてくるかもしれないなにかを逃す可能性も高めるからである。適切なモデルの見方が見えると解法とも一層仲良

くできる可能性が高い。

目の前にあるものを正確に表現するモデル（の一つ）を見るだけでなく、目の前にあるシステムをさらに創造するモデルを見ようという立場の存在も認識しておきたい。これは一見難しそうに見えるが、案外割り切った方がモデルを見やすいことが多い。目前のしがらみを全部並べて答えを見つける方がかえって大変かもしれない。システムをある意味で知りすぎた人はしがらみが全部必要と言うかもしれないが、世界をこう見たらどうか、という前向きな姿勢を持ちながらモデル化に取り組むことも大切である。

モデルには「理想的」というニュアンスが含まれている。ORのモデルもこのニュアンスを引き継いでおり、モデルを見つけることと理想形をどう設定するかが絡んでいることが少なくない。かんぱん方式のように、モデルが単純であるほど一旦見るとその効用は絶大である。もちろんそういうモデルで未発見のものを見つけるのは容易ではない。しかし、我々の回りには見てはいるけれども見えてはいない、つまり、モデルとして認識されていないものが潜んでいることを忘れてはならない。

6. 悦びの輪

モデルを通じて世の中を見ることによって、わくわくするような経験、エェッ、こんなことだったのと思わず飛び上がりたくなるような経験を味わうことができる。しょっちゅうは期待できないかもしれない。ただ、普通の人にも悦びの頻度を増やす手立てがある。自分の周りに、モデルに敏感な（model-sensitive）人、モデルに悦びを感じる人の輪を拡げることである。

なぜトヨタが元気がいいのだろう。筆者の勝手な解釈は閾値に近い人がいっぱいいるから、あちらでひらめくところちらでひらめくというように火花が飛び散っているからである。そういう環境が望ましい。同時に、モデルを見やすくしてくれるような解法側からのサポートもあった方がよい。これら全部ができるスーパーマンがいればよい（実際存在する）が、その数は限られているので、できることはチーム作りだろう。思うに、ORはもともとチームスピリットの上に成り立っていたのである。

さあ、モデルを通じて悦び探しの旅にしよう!! 皆さんといっしょに。

謝辞 本稿執筆にあたって池上敦子さんに元気づけていただきました。心より感謝申し上げます。