

企業のシミュレーションについて

河野 豊 弘

- I シミュレーションの目的と類型
- II 学習過程のあるモデルとその評価
- III 政策変数の多いモデルとその評価
- IV 最適化を含むモデルとその評価
(以下次号)
- V 長期計画のモデルの試案

I シミュレーションの目的と類型

1 シミュレーションの目的

シミュレーションとは、現実を模写するモデルを用いて、与件が変化し、また制御しうる変数を種々に変えた場合に、結果として目標変数が如何に変化するかを予測することである。そのモデルが現実に近いものであると前提して、目標変数が最もよい値となるように制御しうる変数（政策変数とも言う）を決定することである。また政策変数のための方針をきめることである。もし目標変数の数が多いときには、合格水準（または欲求水準）をきめて、何れの目標変数も合格水準を越えるような政策変数の値を見つけ出すことである。

モデルには数式もあるし、機械もある。飛行士訓練用のシミュレーターは機械モデルである。船の模型を水槽でテストし、飛行機の模型を風洞でテストするのも機械のシミュレーションである。経営計画のシミュレーションでは数式を用いる。しかも沢山の方程式を用いて計算を行なうのであるが、方程式の数は200本から500本程度にもなりうる。この

ような大きなモデルになると手計算では無理であり、コンピューターを用いる。コンピューターを用いることによって、複雑な方程式を計算し、しかも沢山の政策の代替案を検討することが可能になる。

このようなシミュレーションの利用によって、どのような効果をあげることができるか。

第一に予測を強化し、それにもとづく決定をすることができる。それは試行錯誤よりもすぐれ、また過去の経験のみによる決定よりもすぐれている。シミュレーションによってシステムの予測を行ない、一層合理的な決定をしうる。しかも複雑な相互依存関係を織り込んだ予測をすることができる。ここで相互依存的な関係とは次のような場合を指す。

与件と政策変数との相互依存関係。例えばゲーミング・シミュレーションで自社が価格を下げると、他社も下げるという関係。しかもそれによって需要全体も増大するという関係。

従属変数の相互依存関係。例えば、借入金と内部留保とは、借入金をふやすと利子支払が増大し、内部留保が減少し、しかも内部留保の大きさは借入金の必要額を規定するという関係がある。この場合には、連立方程式の未知数を求めるという形で同時に決定することができる。しかもそれ以上に総投資や内部留保率などの政策変数を変えた場合に資本構成がどうなるかを予測することができる。

従属変数の間に対立的な関係のあるときに

は、シミュレーションの効果は大きい。例えば、新製品の売上を増加すると会社の売上高は増加するが最悪の場合の利益はむしろ増大するかもしれない。また販売促進費を増加させると占有率は増大し、売上は増加するが、販売促進費そのものは利益を圧迫する。結局、効果と犠牲とのかね合いによって正味の効果がきまる。それを予測して販売促進費をきめるためには、この対立関係の入ったモデルで予測してみることが必要になる。この方法は、「販売促進費は売上高の一定割合とする」といった単純な決定のしかたと対立する。

例えば次のような簡単なモデルを考えてみる。

$$\pi = PX - F - rX \dots \dots \dots (1)$$

π …利益, P …価格, X …販売量, F …固定費, r …比例費

ここで売上量 X が種々に変化した場合に利益 π が如何に変化するかを予測することもシミュレーションである。また P, X, r のさまざまな変化の組み合わせのときに利益 π がいかに変化するかを見るのもシミュレーションである。これは一本の方程式によるシミュレーションであり、損益分岐点分析とも呼ばれる。

しかしここで P と X との間には相関関係があり、価格 P を下げると売上量 X が増大する。また生産量 X が増大すると比例費 r も低下する。つまり、これらの変数の間には相互依存関係があり、例えば

$$X = a - bp + cF \dots \dots \dots (2)$$

という関係があるとき、 P を上げれば π が増大するという単純な関係は成立しない。むしろあるところからは P を下げた方が π は増大する。また販売促進費 F の増大はかえって利益を増大する。

一般的に、

$$(1) \begin{cases} f_1(x_1, y_1) = 0 \\ f_2(x_2, y_2) = 0 \end{cases}$$

$x_1, x_2 \dots$ 先決変数, $y_1, y_2 \dots$ 従属変数のときには、相互依存関係はない。同じ変数を

共有していないからである。

$$(2) \begin{cases} f_1(x_1, x_2, y_1) = 0 \\ f_2(x_1, x_2) = 0 \end{cases}$$

のときには、先決変数の間に相互依存関係がある。

$$(3) \begin{cases} f_1(x_1, x_2, y_1) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, y_2) = 0 \end{cases}$$

のときには従属変数の間に相互依存関係があり、

$$(4) \begin{cases} f_1(x_1, x_2, y_1, y_2) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, y_1, y_2) = 0 \end{cases}$$

のときにも従属変数の間に相互依存関係がある。

(2)式以下の場合には、二つの方程式に変数を共通するために相互依存関係がでてくるのである。積み上げ的なモデルの場合には、(1)式のような形をとり、相互関係がでてこない。ここで沢山のモデルを用いるシミュレーションは、(2)式以下の場合にその効果を發揮してくる。

さらに遠い波及効果を予測することができる。前述の相互依存関係も波及効果の一種である。例えば一見して価格を上げれば利益が増大するように見えるが、連立方程式によって、計算すると必ずしもそうではない。かえって利益が減少する場合があります。このように直観と反対の結果を生む場合がある。また今の設備投資は、5年後の売上、利益、最悪の時の利益、資本構成、要員、材料消費量などに複雑な効果を及ぼす。これは長期的なシミュレーションによって予測することができる。波及効果をみない部分的な最適案は全体としての最適案でないかもしれない。

第二に、コンピューターの利用によって、沢山の政策の代替案との結果の予測値を計算して、結局は最も有利な政策や方針を知ることができる。コンピューターの利用は複雑なモデルでもそのパラメータの計算を可能にする。また政策変数の値を入れたときの従属変数の値の計算を容易にする。それのみならず

次の計算も可能である。

(イ)政策変数の沢山の代替案の組み合わせの結果の計算，(ロ)一つの与件変数または政策変数を1%変化させたときに結果が何%変化するかを求める感度分析 (Sensitivity Analysis)，(ハ)与件変数や政策変数に分布を与えて行なうモンテ・カルロ・シミュレーション (Monte Carlo Simulation) による結果の分布の予測およびそれによる危険の分析，(ニ)実験計画法による分析。

第三には、シミュレーションによって実際の経験に代る経験をもつことができる。これはとくにゲーミング・シミュレーションやその他の訓練用のシミュレーションにおいて著しい。実際の体験では数十年を要するものをシミュレーションによって数日で体験しうる。また実際の体験では失敗の損失をも含めて巨大な費用のかかるものを、少ない費用で体験することができる。会社を実際に倒産させることはできないが、シミュレーションによって倒産の経験をもつことができる。

第四には理論の研究にも用いることができる。例えばゲーミング・シミュレーションによって、価格競争を行なった場合の結果をみてその一般的な理論を検証することができる。また価格以外の競争、例えば品質や販売促進や販売経路の強化といった非価格競争がどのような効果をもつかをテストすることができる。また他のモデルで研究開発費の効果をテストしてみて、どのような研究開発費が最適であるかを一般化することができるであろう。このようなシミュレーションによる理論の研究は、機械のモデル、例えば船の模型やパイロット・プラントによるシミュレーションの場合にとくに著しいであろう²⁾。

2 企業におけるシミュレーションの種類

企業におけるシミュレーションにはどのような種類のものがあるか。現在すでに沢山のモデルが発表されているが、これらを分類す

ると次のようになる。

まず企業の部分的なシステムをモデルにしたものと、企業の全体のシステムをモデルにしたものとある。前者は在庫モデル、工具室の待ち合せモデルなどによるシミュレーションである。後者は販売、生産、利益、資金などで数量化する側面を把握、その物量と金額とによってモデルをつくってシミュレーションを行なうものである。したがってこのモデルでは、企業全体の売上量、売上金額、利益、利益の標準偏差、各種の資本と総資産、負債、資本などがアウトプットされる。この小論ではこの企業全体のシミュレーションを研究する。

企業全体のシミュレーションには次のような種類がある。

(1) 学習過程のあるモデルと政策変数を自由に決定するモデル

学習過程とは、実績から予測や意思決定にフィード・バックする過程である。例えば過去の三期の実績を延長して、次の一期の予測を自動的に決定するモデル。また前期の計画をほぼそのまま踏襲した暫定的な計画の予測利益が目標利益に達しなければ、価格を一定の割合で下げて売上高を増大させ、また費用を減少させて予測利益を増大させるプロセスの入っているモデル。また目標の欲求水準そのものは、長期的な過去の実績から決定するというモデルなどである。このように実績に照らして予測したり、目標水準を設定する。また実績にもとづいて計画をたてるが、目標変数の予測値が目標の欲求水準に達しないときには、計画を修正するプロセスのあるモデルある²⁾。

これに対立するのは、予測や目標の欲求水準や、計画の政策変数は人間が決定するモデルである。この場合に予測については、大抵のシミュレーションでは、サブ・システムとして予測モデルを持っているが、しかしその予測も単に過去の実績からの学習によって

予測するのではなく、やや複雑なモデルによって経験を再構成して予測を行なう。その再構成の度合いが大きい。目標の欲求水準は、自社の過去の実績も参考にすが、他社の実績や賃金水準の上昇の予測などによっても決定する。さらに、政策変数は人間が考えて決定する。時には試行錯誤的に決定して結果をみて、また修正する。それによって人間自身が学習する。とくに政策変数が沢山ある場合には、非常にオープンなモデルであると言える。

もし政策変数が多くとも、もしその政策を試行錯誤でなく一定の方針によって決定するならば、学習過程には適応過程のあるモデルと似てくる。その方針が詳細であればあるほどそうである。学習過程のあるモデルとは、方針がモデルのなかに内蔵されて、それに従って決定するモデルと言える。したがって、方針を変えて、モデルを一部修正し、その方針の結果を予測することができる。

(2) 相互依存関係を織り込んだモデルと、相互関係の少ない積み上げ的なモデル

相互依存関係についてはすでに説明したが、例えば広告宣伝費を増大すると、一方では売上が増大し、他方では費用が増大するという関係である。相互依存関係のないモデルでは、広告宣伝費と売上量との関係がない。広告宣伝費は少ないほどよいことになるが、少なくとも売上の一定割合として、それが最適値であると前提したモデル³⁾。また価格と売上数との間には関係なく、材料費と品質水準との間にも関係なく、研究費支出と品質水準の間にも関係ないといったモデル。このような相互依存関係の欠如は、(i)数量的な関係の把握が難しい。(ii)短期的なモデルで、短期的には実際には数量関係がない、といった場合にはやむを得ない。

(3) 最適な決定過程を含むモデルと含まないモデル

リンカー・プログラミングのによる最適解やラグランジュの乗数を用いての微分法による

最適解を求めることは、政策変数を解析的に決定することであり、それはシミュレーションと対立する。しかし、前提→最適解による政策変数の決定→その結果、というプロセスにおいて、前提を種々に変化させて、その結果を予測するとすれば、それはシミュレーションである。例えば設備能力の制約のなかで、最適な製品構成を決定するというモデルで、設備能力を種々に変化させると生産量と、それに伴う収入と比例費と、設備投資による費用とが変化して利益が変化する。その変化を見て最も有利な設備投資を決定することはシミュレーションの一種である⁴⁾。

学習過程もある種の最適化を求める過程である。とくに予測と欲求水準と比較して不満足の場合には計画の改訂をするプロセスはそうである。それはLPの解を求めて行くプロセスに似ている。しかしLPの場合には最大値に到達するが、学習過程では、欲求水準を上回れば計画の改訂は止む。このような相違があるが両者を共に「適応過程」と名づけるならば、これらは適応過程のあるモデルと称しようであろう。

(4) 波及過程のあるモデルと、波及過程の小さいモデル

波及効果は、二つのことから生まれる。一つには、相互依存関係からくるものである。例えば原材料費を節約すれば利益が増加するというのは単純な関係であるが、かりに原材料費と品質水準との間に関係があり、品質水準と売上量とおよび価格と関係があるときには、原材料費を増大すれば利益が増加する、ということがありうる。波及効果を織り込まないモデルと織り込んだモデルでは全く反対の結果になる。

他の一つは時間的な拡がりに関することである。長期的なモデルで、しかも効果にタイム・ラグがあるときには、長期的な波及効果を知ることができる。反対に短期的なモデルでは時間的な波及効果を知ることができない。

(5) ゲーミング・シミュレーションと、与件を独立であるとするシミュレーション

ゲーミング・シミュレーションでは、ビジネス・ゲーム、戦争ゲーム、国際関係のモデルのように、企業間や国家間が互いに競争したり、協同したりしながら行なうシミュレーションである。ビジネス・ゲームでは、外部の状況と自社の決定との間に相互関係があり、自社の決定に対応して競争企業は価格や生産量を変化する。自社は相手の動きを一定とすることなく、相手の動きを予測しながら決定をすることが必要になる⁵⁾。

ゲーミング・シミュレーションでは、モデルも決定者も複数である。モデルは同じであってもよいが、複数のモデルを同時に操作する。

企業内部の決定でも決定者が複数であり、互いに対立するときには、交渉過程をモデルに入れることがある。例えば営業部長は価格を下げようとし、経理部長は上げようとするとか、I E部門は原価目標を下げようとし、製造部長はむしろ上げようとするとのプロセスである。後にのべるポニノのモデルでは、このような交渉過程が入っている⁶⁾。交渉の結果どうなるかはモデルによってきめたり、確率モデルとしておいて乱数表を用いてきめたりする。ここでも決定者がどのような方針によって定決すればどのような結果になるかをシミュレーションによって知ることができる。

ゲーミングのないモデルでは、与件は一定とする。与件を確率変数としても、自社の決定との相互作用はないと仮定する。また交渉過程のないモデルでは、決定する人は数人であっても、口頭で交渉したり相談し、その結果企業にとって最もよいと考えられる値を政策変数の値としてインプットとする。

(6) 重ね合せの可能なモデルと、分割できないモデル

これは、相互依存関係があるか否かによっ

てきまる。サブ・システムとサブ・システムとの間に相互依存関係があれば、分割できない。例えばLPモデルは分割できない⁷⁾。しかし積み上げの、相互依存関係のないモデルでは重ね合わせたり、接合したりすることができる。例えばA製品の限界利益とB製品の限界利益を合計して会社の利益とすることができる⁸⁾。

相互依存関係があっても、それが少ない場合には、いくつかのサブ・システムに分割して、計算し、あとで接合することは行なわれる。例えば販売および占有率のモデルと利益計画のモデルとを別々に計算し、あとで接合するような場合がこれに相当する。これは主に、コンピューターの計算能力からくることが多い。

(7) 長期的なモデルと短期的なモデル

(8) マクロ的なモデルと詳細なモデル

この二組の区別は関係がある。長期的なモデルは5年ないし10年は互るモデルである。長期になるほど設備投資や研究開発など政策変数の範囲を拡げうる。短期的なモデルでは、設備能力は前提として固定するなど、長期的なモデルの政策変数も与件となってしまう。

マクロモデルは、鍵になる変数だけに変数の数をしぼり、その代りに相互関係を織り込んだモデルとする。細かいモデルでは変数が多いがどうしても積み上げのようになってしまう。

(9) パラメーターを回帰分析や技術的見積りによって推定するモデルと主観的に推定するモデル

真実の状態を模写したモデルを用いることは実用的なシミュレーションの前提であり、真実と異なるモデルによるものは遊戯でしかない。したがってパラメーターは実際の測定によったものであることが当然に必要である。しかし場合によってはパラメーターを主観的に推定して、結果が実績と一致しているか否かを観察して、もし一致していれば、そのパラメーターは実際のものに近いであろうと推

定する場合がある⁹⁾。このようなシミュレーション効果には疑問なしとしなが、全く否定し去ることもできない。

学習過程をモデルに入れたり、また交渉過程を入れたりする場合には、パラメーターを測定することが困難であり、この場合には主観的に推定するよりほかにはない。ゲーミング・シミュレーションではパラメーターは主観的に推定する場合もあるし、測定による場合もある。パラメーターを主観的に推定してシミュレーションを行なう場合には、「それが真実に近いと前提すれば」とか、「パラメーターがそのようなものであると仮定すれば」、このような結果になるということが認識できるにすぎない。

3 シミュレーションの限界

シミュレーション、とくに数式モデルを用いるシミュレーションにはどのような限界があるであろうか。

第一に、数量的な関係の明瞭に測定し難い関係についてはシミュレーションの対象とし難い。例えば、企画室の人員数と企業の利益との関係は測定が困難である。同様に福利厚生施設への投資と労働生産性との関係、新製品への投資と売上高と利益との関係も測定が困難であり、このような事柄についてシミュレーションを行なうことは困難である。

しかし従来、測定が困難だと考えられた数量関係も最近では次第にモデル化されてきたことを注意しよう。例えば占有率モデルは最近では合繊会社、製薬会社、自動車会社などで実際に用いている。ここでは価格や品質水準や販売促進費などが如何に占有率を決定するかをモデル化している。さらに研究開発費への支出による原価低減や品質向上、また新製品の売上などの効果を、過去の実績にもとづいて測定することは可能であり、それによって研究開発支出を政策変数の一つとすることができる。

第二には、数量的に表現し難い事柄はモデル化し難い。例えば政策変数として、事業部制をとるか否かとか、トップは一人かまたは複数の集団かというのが如きである。しかしこの場合にも、組織ごとに方程式を別にして、組織構造をモデルに表現することは可能であることを注意しよう。例えば製品別事業部制ならば、製品別に利益を計算するようなモデルとする。しかも製品ごとに決定者を別にして互いに競争すれば、事業部制を取り入れたシミュレーションとなりうる。

定性的な業績も表現し難い。例えば従業員の満足度とか、企業のイメージとかなどである。しかしこれらの定性的な業績にも、数量的指標を与えることができるならば、それをシミュレーションに取り入れることは不可能ではない。

以上の二つの限界は要するに、現実をうまく模写したモデルがつかれないときには、シミュレーションを行なうことはできない。反対に、現実を模写する方法が進めば進むほど、シミュレーションを適用する範囲が広がる。

第三に、シミュレーションの利用についての限界であるが、画期的なアイデアをシミュレーションによって得ることは困難である。すでにモデルに含まれている政策変数の値のなかで最も有利な値を知ることはできる。しかしモデルそのものをつくるのは人間であり、シミュレーション以前の問題である。新製品や新事業をシミュレーションで発見することはできない。またパラメーターの大きな改良をもたらすようなアイデアもシミュレーション以前の問題である。

- 1) シミュレーションの目的については、巻末の参考文献の、(1)清水(昭和40年)、(2)河野(昭和41年)、(4)Bonini(1963)など。
- 2) Cyert & March: A Behavioral Theory of the Firm(1963); C. P. Bonini: Simulation of Information & Decision Systems in the Firm(1963).

- 3) 例えば R. Mattesich : Simulation of the Firm through a Budget Computer Program(1964).
- 4) Rapoport & Drews : Mathematical Approach to Long-Range Planning(Harvard Business Review, M-J, 1962).
- 5) Kiffee, Craft & Nanus : Management Games(1961) など。
- 6) Cyert & March : op. cit., C. P. Bonini : op. cit.
- 7) Rapoport & Drews : op. cit.
- 8) R. Mattesich : op. cit.
- 9) Cyert & March : op. cit. ; C. P. Bonini : op. cit.

II 学習過程のあるモデル

——ボニニのモデルとその評価

1 学習過程の意味

シミュレーション・モデルのなかに学習過程を組み込んだモデルの典型的なものとして、ボニニの「企業における情報と決定システムのシミュレーション¹⁾」をあげることができる。

学習過程というのは予測される結果と業績の目標とを比較して、もし予測される業績が不十分であれば、価格を下げたり、(需要が増大すると前提) 製造原価を切下げ(切下げの余地ありと前提)で業績を改善しようとする。このような政策変数の変更がシミュレーション・モデルのなかに組み込んである。つまり予測と目標と比較して政策を変更するための方針がモデルとして内蔵してあるのである。例えば次のようである。

利益の予測が目標利益に及ばないとき、(i) まず製造原価を5%切り下げる。(ii) それでも目標に達しないときには、売上予測を5%引き上げる。(iii) それでも目標に達しないときには、価格を5%切り下げる。(iv) それでも目標に達しないときには目標自身を5%下げる。それでも目標に達しないときには再び(i)から

くりかえす。これまでの中間で予測される業績が目標以上になれば、第一次の計画を最終計画とする。

学習過程の第二の意味は、予測や目標そのものを、自社の業績からきめる。例えば、販売予測は自社の過去の長期的な実績からつくられる。しかも、シミュレーションは4半期ごとの決定にもとづいて約10年間に亘ってくりかえされて行なわれるのであるが、毎4半期ごとに過去の数期の実績にもとづいて次の期の予測が立てられる。したがって予測は実績と大きく離れることはない。

単位標準原価も前期の標準原価と前期の実績とを参考にして立てられる。また利益目標も長期的な利益の実績からきめられる。(目標はボニニのモデルにおいては「目標」、「標準原価」、「圧力指標」などの表現となる)。さらに生産計画も販売予測にもとづくばかりでなく、在庫量の実績にもとづいても立てられる。したがって大量の在庫を残すということもない。

このような実績からのフィード・バックは毎4半期ごとに行なわれる。それが10年間くりかえされて長期のシミュレーションが行なわれる。

以上のように、政策変数の決定にもまた目標の設定にも過去の計画や過去の実績とからきめられる。つまりモデルに学習過程説が入っているのである。

政策変数の決定や変更は一定の方針にもとづいて行なわれるから、恣意的に決定されることがない。したがってシミュレーションは、初期条件を入れさえすれば、途中で政策変数を決定する必要はなく、5年ないし10年分の価格や費用や生産量などが計算され、その結果も計算される。この意味では自律的なモデルである。つまり政策変数は全く内生変数になってしまう。したがって政策変数と呼ぶかどうか疑問となる。

しかし政策変数をきめるための方針は変更

しうる。その変更は、途中で変えるのではなく、シミュレーションの全体の試行をやり直すときに変えるのである。このように方針を変更し、モデルを変えて政策変数の決定のしかたを変えることができる。それによって方針の代替案の効果をj知ることができる。もし政策変数を勝手に決めてシミュレーションを行なうならば、一つの政策の変更のj効果、したがって方針のj効果をj知することは困難であろう。何故ならば、他の政策変数も自由に変えられるとすれば、業績の変化は、どの政策変数によるものかはっきりしなくなるからである。自由に決定できる政策が多くなればなるほど、一つの政策の決定のj効果をj知ることが困難になる。一つの決定とその結果との因果関係の糸が途中で切れてしまうからである。

また政策変数を勝手に決定する場合には、たとえよい結果を生む場合が発見されても、それがどのような方針にもとづくものであるかを見出すことが困難である。とくに効果が長期に亘り、しかも何回かの決定に一貫性がなく、方針もない場合においてjそうである。

2 実績決定のモデルと意思決定の過程を示すモデルとの分離。

ボニのシミュレーションにおいては、実績決定のモデルと、意思決定のモデルと別のもとなっている。この点では他のシミュレーションと異なっている。第2.1表はこれを図解したものである。前述のように、政策変

数の学習による決定のためには、実績が4半期ごとにわかることが必要であるが、その実績を示すものが実績決定のモデルである。この実績は、事実jに等しいと仮定される。

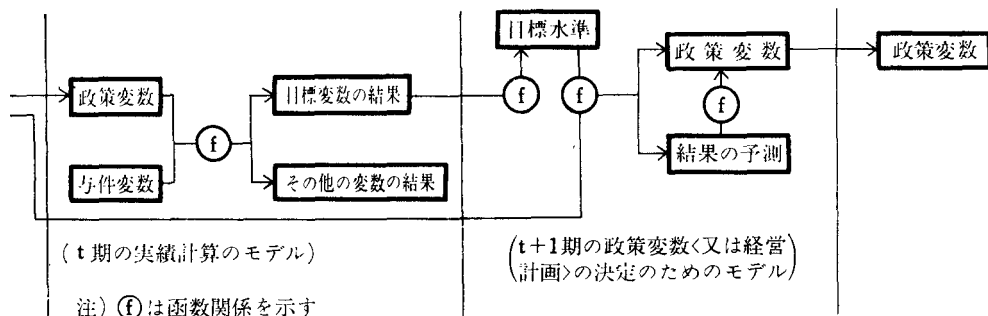
普通、シミュレーションのj真実性を見るためには、j真実の実績と比較される。しかしボニのモデルでは実績のモデルでは実績と同じと前提される。

一方において意思決定の過程のモデルは、j実際の意思決定をj描写していると前提する。意思決定は、j不完全な情報にもとづいて、j種類の決定センターが行なうのであり、その点で実績のモデルと異なっている。

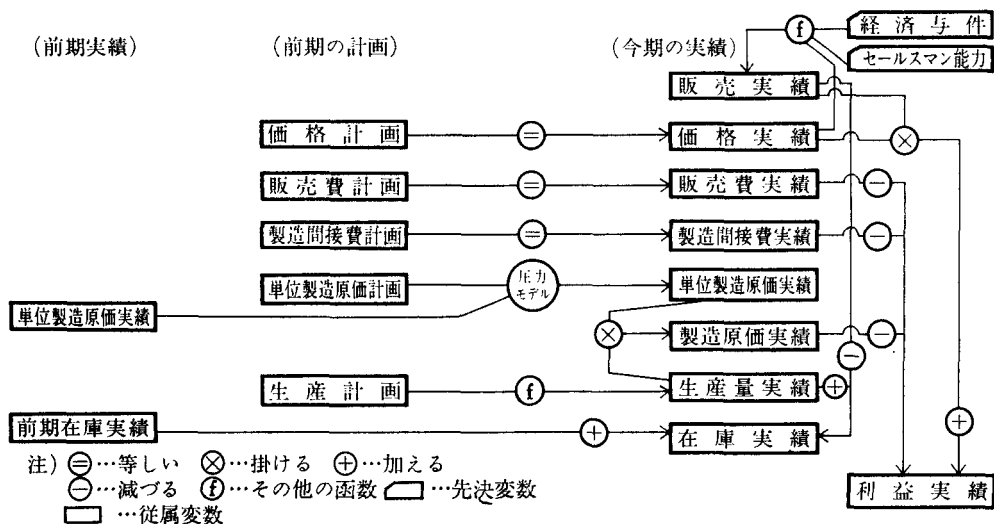
このようなシミュレーションのj特色を飛行士の訓練用のシミュレーターにj例えて説明すれば次のようになろう。j機械のシミュレーターは、j実績のシミュレーションにj相当しよう。一方においてj実物の飛行士のj代りにその行動をj模写したシミュレーション・モデルがもう一つあり、それはjいろいろのj情報、すなわちj現状のj情報やj予測されたj情報にもとづき、ある方針に従って、j決定を行なう。そのj決定の結果はj機械のシミュレーターによってj真実に近い飛行のj状態としてjあらわされる。飛行士のj行動をj模写したシミュレーションを用いることによって、jどんな場合にjどんな方針のときにj誤った飛行を行なうか、jまたj正しい飛行を行なうかを知ることができる。それによってj決定のjルールたるj方針をj評価することができる。

普通、訓練用には、j飛行状態を示すj機械の

第2.1表 実績計算のモデルと政策決定（または経営計画）のためのモデル



第2.2表 4半期および各月の実績の決定モデル



シミュレーターしかないように、経営計画のシミュレーションでは、実績を示すシミュレーションしかない。意思決定は、人間が行ない、その結果をシミュレーションによって知ろうとする。ボニニのモデルでは不完全な情報による適応的な（または学習的な）意思決定のモデルをもっている点の特徴である。このような意思決定のプロセスのモデルのあることによって、意思決定のやり方を評価することができる。

3 実績のモデル

実績をあらわすモデルの概要は第2.2表の通りである。

販売実績。販売実績は(i)毎年2%ずつ増大する時系列の傾向と、(ii)上記の時系列の長期的傾向を±10%の幅で36ヵ月を周期として変動する景気変動と、(iii)価格の変化による需要の変動と、(iv)セールスマンの能力の分布とによってきまる。このうち価格との関係では、例えば、A製品の需要量 $=1,000,000 \times P^{-2.00}$ としてきめられる。価格に対する需要の弾力性は-2.0であって、比較的高い。

販売実績の決定において、競争関係は全く入っていない。市場と企業の決定との二者だ

けである。価格の実績、販売費の実績、製造間接費の実績。この三者とも、計画通りにきめられる。

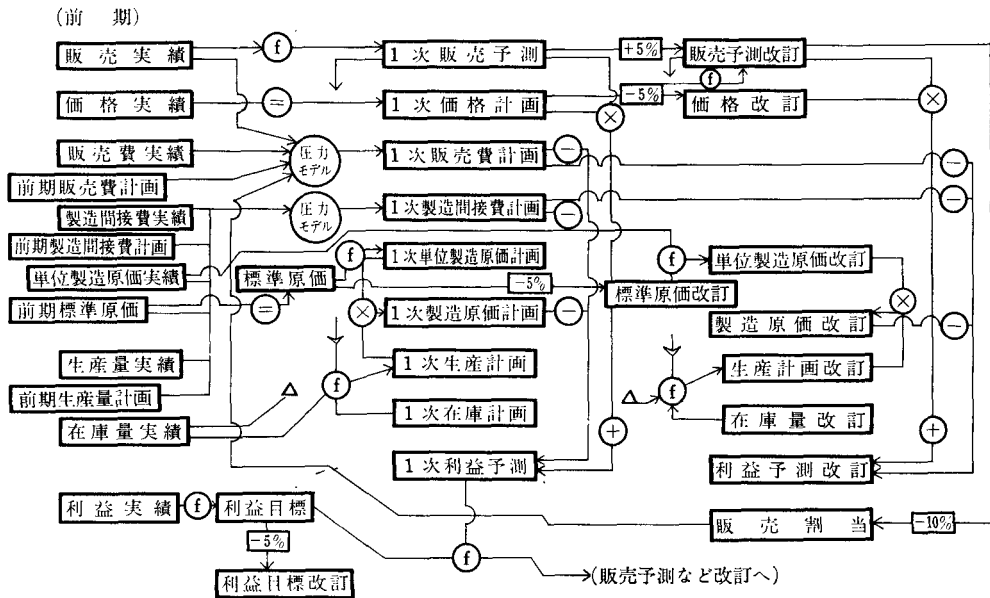
単位製造原価の実績。これは、計画通りにはならない。ある大きさの標準偏差をもって分布する。しかも職長の圧力が大きければ、原価を下げ、標準偏差も小さくなる。圧力が小さければ原価は上がり、標準偏差は大きくなる。

ここで職長の圧力は製造部長の圧力と、工場長の巡視に使う時間と赤字の製品の割合とによってきまる。製造部長の圧力は標準原価と実際原価との相違などによってきまる。工場長の巡視の回数も標準原価と実際原価との差による。単位製造原価は、また操業度によっても影響をうける。

生産量の実績。生産計画を前期に比べて、生産を平準化して、生産を行なう。もし前月の生産計画と生産実績と等しいならば、今月は、計画の数字がそのまま実績となる。もし前月の計画と実績とが25%以上も異なるならば、生産計画をその実績に近づけたものが実績となる。生産の実績も計画通りには行なわれないわけで、若干修正した上で実行される。

製造原価の実績。単位製造原価実績に生産

第2.3表 4半期ごとの計画決定のモデル



実績を乗じて求められる。

利益の実績は売上の実績から、費用の実績を差し引くことによって得られる。

以上のような実績決定のモデルは非常に単純化されている。例えば、(イ)競争関係は全く考慮の外におかれている。(ロ)販売費も製造間接費は計画通りに増減できる。他への反作用はない。このような単純化が行なわれている。実績のモデルは毎月計算する。

4 計画決定のプロセスのモデル

計画決定のプロセスのモデルは、適応的な

意思決定の過程のプロセスをモデルにしたものであり、ポニニのモデルの特色をなすものである。その決定のプロセスをフローチャートにしたものが第2.3表である。

一次販売予測。これは長期の販売実績の時系列を見て、次の4半期について行なう。すなわち第2.4表のようである。

このような方法により、セールスマンの予測→地区販売部長の予測→会社の予測と積み上げられる。一次の販売予測は、もし予測利益が目標利益より小さいときには、5%引き上げられ、販売予測は改訂される。この

第2.4表 販売予測の方法

\bar{S}	過去5ヵ月の平均売上実績
S_{t-1}	前月および前々月の実際売上
S_{t-2}	
\tilde{S}	次の4半期の売上予測額
①	$S_{t-1} \geq \bar{S}$ および $S_{t-2} \geq \bar{S}$ ならば $\tilde{S} = \max(S_{t-1}, S_{t-2})$ (上向きするとき)
②	$S_{t-1} \geq \bar{S} \geq S_{t-2}$ か $S_{t-2} \geq \bar{S} \geq S_{t-1}$ ならば $\tilde{S} = \bar{S}$ (山型するとき)
③	$S_{t-1} < \bar{S}$ および $S_{t-2} < \bar{S}$ ならば $\tilde{S} = \frac{S_{t-1} + S_{t-2}}{2}$ (下向きするとき)

予測の改訂は、販売実績には何ら影響を与えない。しかし販売割当を増大し、販売部門の人々に圧力をかけ、それが販売費の計画および実績を削減させる。また生産計画を増大し、それが製造部門の人々に圧力をかけ、製造間接費の計画および実績を低下させるという効果をもつ。

一次の価格。

これは前期の実績がそのまま用いられる。しかし予測利益が目標に不足するときには、5%引き下げられる。これは需要量の実績を増大させる。何故ならば、前述の通り価格に対する需要の弾力性は極めて大きいからである。結局、学習過程を通じて、最も有利な価格に到達することになる。

一次販売費計画

第一次の販売費の計画は、前の4半期の予算(=実績)を参考として、それをプラスまたはマイナスしてたてられる。その増減をきめるものは、圧力モデルである。圧力指数は註2の表の営業部長の圧力指数による。そして、3ヵ月間連続して圧力指数が110以上のとき、前期の予算(=実績)を2%削減。同110以下95以上のとき、前期と同額。同95以下のとき、3%増加。これは圧力が高まると削減し、圧力が低まると無駄使いをすることを意味する。同時に業務量が増加すると、それに応じて増加することにもなる。

圧力には上役の圧力と自己の感ずる圧力とある。この圧力指数によって、組織の統制過程が意思決定のモデルに入ってくる。

この圧力指数をよく観察すると、要するに長期の実績からくる目標と、短期の実績との比率である。目標達成が良ければ増大し、悪ければ削減する。業績が向上しつつあれば増大し、低下しつつあれば削減する。このようにして、実績からのフィード・バックによって計画をきめるわけであり、学習過程を通じて計画をたてることになる。

このような販売費計画のきめ方は、過去の

刺激に反応するというきめ方であり、後向きであることを注意しよう。すなわち販売予測に合わせて、その一定割合にするといった、予測にもとづく決定ではない。

また販売促進費を増加すれば売上が増加するという考え方もない。

一次製造間接費。

前述の販売費とほとんど同様にきめられる。このときに用いられる圧力指数は註2の表の製造部長の圧力指数である。

一次の単位当り製造原価。

単位当り平均の製造原価は、前4半期の業績と標準原価とに半々のウェイトをつけて製造部長がきめる。標準原価はIE部門は上げようとし、職場長は下げようとする。標準原価は過去の長期的な実績によってきまる。そして原価の実績がそれを3期連続して超過すれば、2%増加することが要求される。もし原価の実績が3期連続して標準を下回れば2%削減することが提案される。これらの提案は、ある確率をもって管理される。このプロセスは、前述の圧力指数と非常に似ている。もし第一次の利益予測が目標利益を下回れば標準原価は5%削減される。結局2.5%だけ予定原価が削減されることになる。

製造原価。

単位原価に、次にのべる生産計画量を乗じて求められる。

一次生産計画。

これは販売予測+在庫の標準量-前期末在庫量=生産計画量として求められる。

一次利益予測と利益目標。

以上の諸計画から、第3表のようにして一次利益予測が行なわれる。すなわち、

販売予測×価格-(販売費+製造間接費+製造原価)=利益予測。

この利益予測は、目標利益と比較される。目標利益は、過去10.4半期の平均によってきめられる。

もし予測利益≥目標利益ならば以上の一次

計画が確定する。

もし予測利益<目標利益ならば、次の順序で逐次に計画を改訂する。(イ)標準原価を5%削減する。(ロ)売上を5%増加する、(ハ)価格を5%下げる。以上でもなおかつ予測利益<目標利益ならば、(ニ)目標利益を5%下げる。それでも予測が目標を下回るときには、さらに第2回目を上述の(イ)からくりかえす。

予測利益が目標を上回ったとき、計画は確立し、実行されて、実績となる。ただし売上高については、さらに販売割当がつけられる。この販売割当は、販売予測を10%水増しした上で、各地区およびセールスマンに割当てられる。しかしこの10%の水増しは、モデルの上では、販売実績に影響することなく、第3表にみるように、販売についての圧力指数となって、販売費を削る効果をもつものとなっている。

計画決定のモデルの特徴。

以上のようなボニニの計画決定のモデルの特徴は次のようである。

(イ) 政策変数はすべて方針にもとづいて決定されること、すなわち政策変数は内生変数になっていること。

(ロ) 実績にもとづく学習過程と短期予測にもとづく修正過程が、そのモデルのなかに入っており、計画の改訂も自動的に行なうこと。このさい予測といっても次の4半期の利益の予測のみであり、長期の予測は全く行なわない。したがって全体として過去の刺激に反応するというモデルになっていること。

(ハ) 目標水準は主として長期的な過去の実績によって定められるのであるが、短期の実績や、短期の予測の水準が目標水準に達しなければ、新しい方法を探索し、費用の切り下げを行なう。もし目標を上回れば、費用の水増しをする。これは浪費をするとも理解できるが、実績の増大に応じて費用を増加することも理解できる。さらに探索する場合に全部をするのではなく、逐次に探索をする。この考

え方は、サイモン、マーチ、サイヤートらの行動科学の考え方に従っている³⁾。

サイヤート・マーチはスラック (Slack) の語を用いるが、ボニニは圧力 (Pressure) の語を用いるのであり、両者はほぼ共通の概念であるといえる。

(ニ) 組織のなかでの交渉過程が入っている。すなわち意見の対立や、情報の伝達や圧力の伝達などがモデルのなかに入っている。例えば上役の圧力が下への圧力となり、またIE部門は常に標準原価を下げようとする。この特徴はしかしながら、それほど目立ったものではない。いくつかの方程式の一部を組織の一部の主張と指定するだけのことである。あるいは、組織の一部の主張を入れたモデルが入っているだけのことである。

(ホ) 実績のモデルと同様に、パラメーターはすべて主観的にきめられている。したがってどの程度現実を模写したものであるか疑問である。

5 実験計画法による分析

標準的な状態における業績の実績は第2.5表の通りである。

第2.5表 実験結果の要約 (108ヵ月9年)

	価格原価 (指数)	圧力 (指数)	在庫 (指数)	売上ポ テンシャル を超える 分(千ド ル単位)	上利 潤 (千ド ル単 位)	
平均値	92.18	87.23	114	178.76	94.66	156.74
標準偏 差	6.04	25.93	0.12	75.56	79.38	240.27
趨 勢	-1.184	-1.144	0.0018	2.19	1.996	2.436

- 1) 指数はすべて0期=100とする。
- 2) 圧力指数は種々の圧力指数の幾何平均。
- 3) 売上ポテンシャルを超える分とはその意味が不明であるが、2%の傾向値を上回る場合であろうか。

この実績は、コンピュータを用いて計算し、108ヵ月、すなわち9年の実績である。

次に環境の変化や、方針の変化を実験計画

第2.6表 外界変化の影響—不安定と安定的な場合

	価格 (指数)	原価 (指数)	圧力 (指数)	在庫 (指数)	売上ポテンシャルを 超える分(千 ドル単位)	利 潤 (千ドル 単位)
主効果 (安定的と変動的) 交互作用	-2.83***	-4.17***	5.5***	32.91***	72.18***	63.74***
A. L I F Oと移動平均法	-1.40*	-1.47*	1.4*	20.20*	21.95*	51.83**
B. 圧力の伝播	.46	-1.19	-.1	10.88	32.56**	21.59
C. 圧力への感受性	1.53**	1.94*	.2	-1.35	17.06*	-1.54
D. 販売品の在庫の知識	-.02	.57	-.2	.12	-4.42	-12.14
E. 需要の増加率, 不規則と安定的	.11	.20	1.8*	-2.86	-5.87	1.70
F. I E部門, ゆるい場合と厳格	-1.08	-1.88*	.3	5.30	6.82	12.60
G. 何時のデータを利用, 過去と現在	-.40	-1.64	.9	16.43*	18.55*	47.36**

法を用いて検討している。一つの環境や、一つの方針で実験するだけでなく、環境や方針を変えてシミュレーションを行ない、結果をみて最もよい方針を見つけ出していくことがシミュレーションの重要な用い方であるが、方針を任意に変えてみるのではなく、感度分析 (Sensitivity Analysis) やモンテカルロ・シミュレーション (Monte Carlo Simulation) の方法を用いれば進んだ分析を用いたことになる。後者は統制不能の変数の変化による結果の分析を知ること用いられる。実験計画法は、計算や分析はやや面倒であるが、次のような利点を有する。(イ)一つの要因の効果だけでなく、他の要因との交互作用も知ることができる。(ロ)実験回数を比較的少数に少なくして効果を判定することができる。例えば2水準で8因子の実験を行なうとすれば $2^8=256$ 回の実験を行なわれねばならないが、交互作用がほとんどないと予想される場合を利用して実験回数をへらし、例えば8因子2水準でも64回程度で済まう。

実験計画法を用い、約10年間(108ヵ月)に亘って、64回のシミュレーションを行なって整理したもののが第2.6表である。

シミュレーションにおいて変化させたもの、すなわち実験計画法の「因子」は次の8つのものであった。

(イ) 在庫評価法—L I F Oと移動平均法

(ロ) 圧力の伝播—大と小

(ハ) 圧力への感受性—高いと低い

(ニ) 販売員が在庫を知っているか否か—知らない知っている

(ホ) 外界の変動性 (需要の景気変動の大きさ)—変動的と安定的

(ヘ) 需要の増加率—高い不規則な成長と低い安定的な成長

(ト) I E部門—ゆるい場合と厳格な場合

(チ) 何時のデータ—過去と現状

このような変化は、モデルを少し変えることによって行なう。例えば圧力の変化は上役の圧力のウェートを減少させたり、(圧力の伝播は小となる)、自己の実績と目標との比率のウェートを増加させたり(感受性が大となる)する。

第2.6表はこの分析表の一部であり、例えば需要の変動が大きいと、利益の平均値が大きくなり反対にコストは下がることが示されている。これは安定していると受け、変動が激しいと努力をするというモデルになっているからである。他の要因との交互作用はL I F O法による在庫評価法および上からの圧力の伝達が強。これは、L I F O法のときには、利益の変動が大きくなり、このために利益増大の圧力が大きくなるからであろう。また上からの圧力が大きく、需要が変動的であ

る場合には、LIFO法でなくとも、とくに利益増大の圧力が大きいためである。

ボニニ・モデルの評価

以上のようなボニニのモデルの特色と評価とを行なえば次のようになる。

(1)学習過程が入っている。実績によって目標を設定したい。また実績と目標とから政策変数をきめる。このためにクローズド・モデルとなっている。

このことは、政策変数決定のための方針がモデルのなかに内蔵されているといってもよいであろう。この考え方は参考になる。他のモデルによる場合にも方針の効果を知るためには、一貫して一つの方針を用いないとその効果が判明しないからである。

(2)満足基準の利用。最大基準ではなく、目標標準を上回ればよいとする考え方。この考え方はサイモン・サイヤート・マーチらの行動科学のアプローチである。

(3)組織における交渉過程が入っている。この考え方はモデルを複雑化するという欠点もあるが、他のモデルと異なった特色である。他のシミュレーションの場合にも誰が予測し、

誰が政策変数を決定するかを考慮して、モデルをつくることは有益であるかもしれない。その欠点をあげれば次のようになろう。

(4)実績計算モデルと計画のためのモデルの分離

実績計算は事実そのものと看做される。計画のためモデルは、不完全な情報にもとづいて決定するモデルである。この分離はよく理解できないところである。実績計算のモデルが事実そのものを示すというのも奇妙である。計画のモデルでは、例えば価格に対する需要の弾力性は不明とされ、ただ5%の切下げを何回かするだけである。しかもこのモデルがどこかの企業の実際を模写したものかどうか不明である。

(5)競争関係が全く入っていない。

(6)パラメーターの値は、全く人為的にきめられている。圧力モデルなど実際に測定は不可能である。したがってパラメーターは人為的に役立たせざるを得ない。このことはシミュレーション価値を大幅に低下させる。

(7)新製品開発や設備投資などでの革新はない。

1) C. P. Bonini : op. cit.

2) 圧力指数の例

営業部長の圧力指数		
要素		ウェート
1. 上役（経営委員会）の圧力指数		20
2. 企業全体としての販売割当と前月の実際売上高との比		25
3. 企業の利益目標と前月の実際利益との比		10
4. 販売管理費予算と前月の実際販売管理費との比		15
5. .25+.25×割当の80%以下しか達成できなかった地区と製品の数		5
6. 企業全体としての販売割当と前4半期の実際売上高の比		20
		100

地区営業所長の圧力指数		
要素		ウェート
1. 上役（営業本部長）の圧力指数		25
2. 前月の地区販売割当と実際売上高の比		35
3. 当該地区のセールスマン1人平均売上高と企業全体のそれとの比		5
4. 地区販売管理費予算と実際販売管理費の比		10
5. .75+.25×割当の80%以下しか達成できなかった製品の数		5
6. 前4半期の地区販売割当と実際売上高の比		20
		100

セールスマンの圧力指数		
要素		ウェート
1. 上役（地区営業所長）の圧力指数		25
2. 前月の販売割当と実際売上高の比		40
3. 当該地区セールスマンの1人平均売上高とかれの売上高の比		10
4. $.75 + .25 \times$ 割当75%の以下しか達成できなかった製品の数		10
5. 前4半期の販売割当と実際売上高の比		$\frac{15}{100}$

製造部長の圧力指数		
要素		ウェート
1. 上役（経営委員会）の圧力指数		20
2. 標準製造原価の合計と実際原価の比		35
3. 製造管理費予算と実際の製造管理費の比		10
4. $.75 + .25 \times$ 実際原価が標準原価を5%以上上まわった製品の数		10
5. $.75 + .25 \times$ 実際原価が標準原価を10%以上上まわった部門の数		15
6. 操業度指数の逆数		$\frac{10}{100}$

3) H. A. Simon : Administrative Behavior (1957); cyert & march : op. cit.

III 政策変数の多いモデル—— マテジクの予算モデルとその評価

マテジクの予算モデルは、前述のポニニのモデルと異なって、実績からのフィードバックの全くないモデルである¹⁾。沢山の政策変数は人間が試行錯誤的に決定する。パラメーターは一定であって、利益が減少すると削減するということはない。この意味で学習過程のないモデルである。また、ポニニのモデルは初期条件とモデルに内蔵された方針とによって10年間も自動的に操作をする。環境に適応はするが、それは自動的に行なう。しかしマテジクのモデルではこのようなことはなく、毎年(または毎月、これは自由にきめられる)沢山の政策変数の数値を入れることが必要である。

1 マテジクのモデルの概要

マテジクのモデルは次のような構成になっている。

- (イ) 販売予算
- (ロ) 生産および費用の予算
- (ハ) 資金繰表

(ニ) 総合利益予算

(ホ) 見積貸借対照表

これらについて詳細な予算をつくるためのモデルである。これらは次のような次元(Dimension)をもっている。

期間……月別(符号はMO)

製品……10製品(符号はI)

工場部門……製造4, 補助2, (符号はK)


直接材料……3品目(符号はJ)

製造間接費の項目……12項目(符号はL)

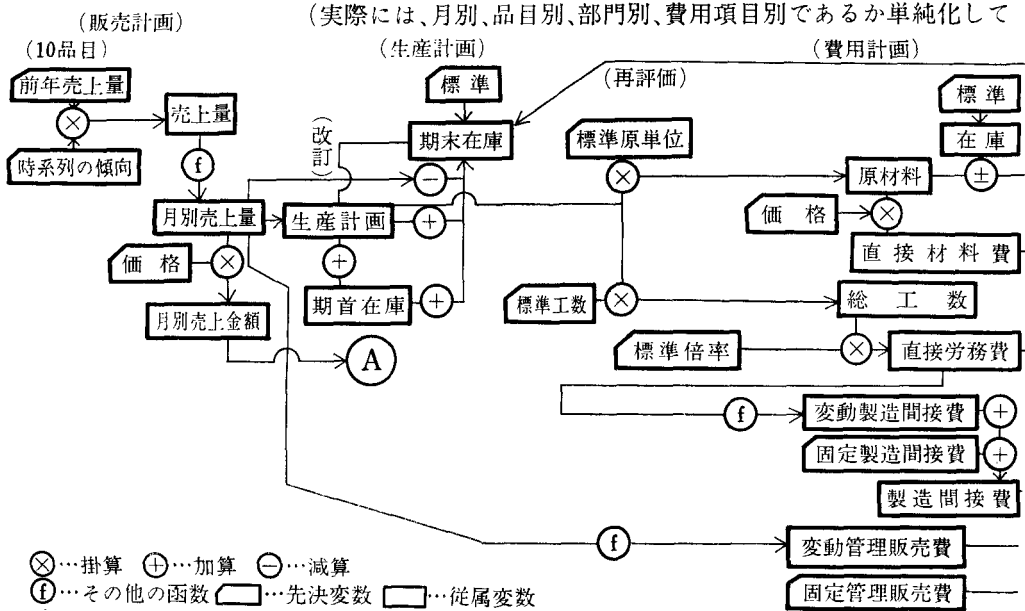
販売費, 管理費の項目……5項目(符号はM)

これらが組み合わされるから非常に詳細な予算のモデルとなる。

第3.1表は、マテジクのモデルのうち、前述の(イ)販売予算、(ロ)生産および費用の予算、(ニ)総合利益の予算の概要を示す。この表は、月別、品目別、部門別の表示が省略してあるから単純化してある。この図は全体として一般の予算編成のプロセスをそのままモデル化していることがわかる。

この第3.1表をポニニの第2.3表と比較して直ちに判明することは、政策変数が多いということである。第3.1表の  印は先決変

第3.1表 マ テ ジ ャ の



数を示し、その大部分は政策変数である。またこの表には出ていないが、製品構成も自由にかえられる。これらの政策変数を種々に変化させて、結果を予測する。これがこのシミュレーションの目的である。

モデルの方程式群は次のようである。()内は次のような区分を示す。

- (I)……製品別
- (J)……直接材料の区分別
- (K)……部門別
- (L)……製造間接費の項目別
- (M)……管理販売費の項目別
- (Mo)……月別
- (Mo=13)……年間合計(フローのとき) または年末(ストックのとき)を示す。

- (1)販売予算
- (1-1) 年売上量 (I, Mo=13) = 前年売上量 (I) × 時系列指数 (I)
 - (1-2) 月別売上量 (I, Mo) = 年売上量 (I, Mo=13) × 月別売上係数 (Mo)
 - (1-3) 月別売上金額 (I, Mo) = 月別売上量

(I, Mo) × 価格 (I)

(2)生産予算

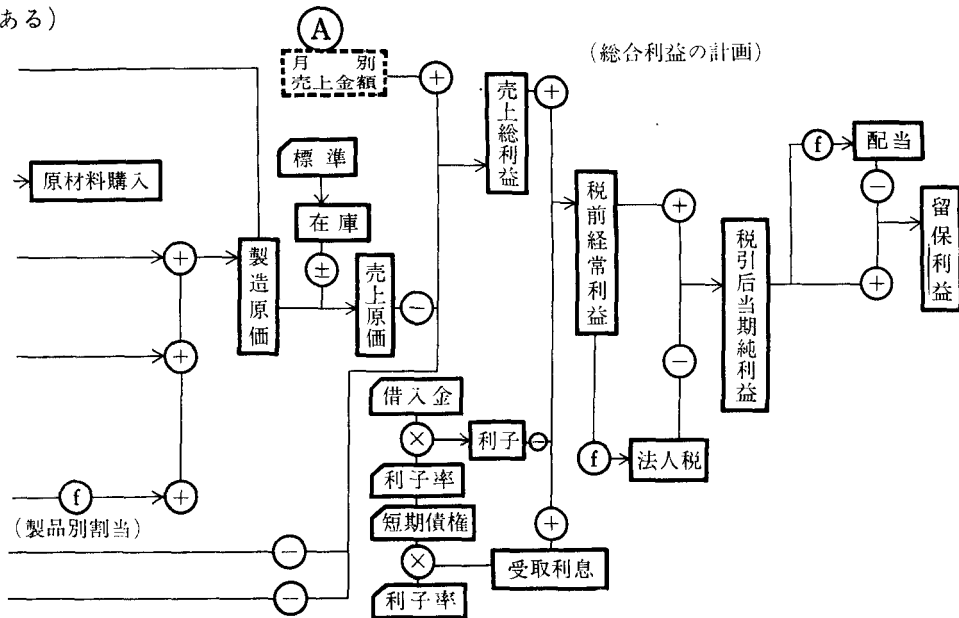
- (2-1) 月別生産計画 (I, Mo) = 年生産量 (I, Mo) × 月別生産係数 (I, Mo)
- (2-2) 修正月別生産計画 (I, Mo) = 年生産量 (I, Mo) × 修正月別生産係数 (I, Mo)
- (2-3) 先月の平均製造原価の計算(省略), これは在庫の評価に用いられる。
- (2-4) 年生産量 (I, Mo=13) = 期末在庫 (I, Mo=13) + 年売上量 (I, Mo=13) - 期首在庫 (I, Mo=1)

(3)原材料予算

- (3-1) 原材料消費 (I, J, Mo) = 修正月別生産計画 (I, Mo) × 原単位 (I, J)
- (3-2) 原材料購入 (J, Mo) = 原材料消費 (J, Mo=13) × 在庫係数 (J, Mo)
- 修正原材料購入 (J, Mo) = 原材料消費 (J, Mo=13) × 修正在庫係数 (J, Mo) 前低在庫を下回らないように

利益計画のモデル

ある)



修正する。

- (3-3) 原材料在庫(J, Mo) = 先月在庫(J, 先月) + 先月購入(J, 先月) - 先月原材料消費(J, 先月)

(4) 労務予算

- (4-1) 月間総工数(I, K, Mo) = 年間総工数(I, K, Mo=13) × 月別生産係数(I, Mo)
- (4-2) 直接労務費(I, K, Mo) = 標準賃金(K) × 標準工数(I, K, Mo)

(5) 製造間接費

- (5-1) 部門固定製造間接費(K, L) = 固定製造間接費(L) × 部門別固定製造間接費係数(K, L)
- (5-2) 部門変動製造間接費(K, L, Mo) = 変動製造間接費率(L, K) × 部門直接労務費(K, Mo)
- (5-3) 製造間接費の項目別の合計(L, Mo) = 変動間接費(K, L, Mo)の合計 + 固定間接費(K, L, Mo)の合計
- (5-4) 製造間接費の部門別の合計(K, Mo) = 配賦前の間接費(K, Mo) + 配賦間

接費(K, Mo)の合計

- (6) 管理, 販売費予算
- (6-1) 変動管理販売費(M, Mo) = 売上量(I, Mo) × 管理販売費率(I, M)の合計
- (6-2) 管理販売費の合計(Mo=13) = 固定変動費 + 変動管理販売費(M, Mo)の合計
- (7) 資金繰予算(省略)
- (8) 損益予算
- (8-1) 法人税(Mo=13) = 0.3 × 税前利益(Mo=13), ただし250,000\$以下のとき, 25,000\$以上のとき(省略)
- (8-2) 長期負債利子(Mo) = 長期利子率(Mo) × [期首長期負債(Mo) + 期末長期負債(月末)] / 2
- (8-2) 短期負債利子(Mo) = 短期利子率(Mo) × [期首短期負債(Mo) + 期末短期負債(月末)] / 2
- (8-4) 売上原価(Mo) = 期首原材料在庫(Mo) + 購入原材料(Mo) - 期末原材料在庫(Mo) + 直接学務費(Mo)

+製造間接費 (Mo) + 期首製品 (および半製品) 在庫 (Mo) - 期末製品 (および半製品) 在庫 (月末)

売上原価の合計 (省略, 上記の合計)

(8-5) 売上総利益 (Mo) = 総売上高 (Mo) - 売上原価 (Mo)

(8-6) 税引後当期純利益 (Mo) = 総売上高 (Mo) - 売上原価 (Mo) - 総管理販売費 (Mo) - 利子 (Mo) + 受取利息 (Mo) - 法人税 (Mo)

(8-7) 受取利息 (Mo) = 短期利率 (Mo) × 短期債権 (Mo)

3 マテジクのモデルの評価

以上のようなマテジクの予算モデルの特徴は次の通りである。

(1)短期的な詳細なモデルである。それは月別、製品別、部門別の積み上げ的なモデルである。沢山の方程式の積み上げによって、沢山の政策変数をきめれば、企業全体としてどのような結果になるかを予測することができる。

(2)決定しマインputすべき政策変数が極めて多い。これはモデルが詳細であり、政策変数をフィード・バックによって内生変数とすることが少ないからである。このために長期のシミュレーションは、インputをきめるだけでも大変である。また、一つの政策変数の変化の結果を予測することが困難になる。何故ならば、一つの政策変数の効果ももし他の政策変数も共に変えるならば前者の効果が途中で途切れてしまうからである。しかも政策変数の波及効果、例えば販売促進費の売上高への波及がモデルにあらわされていないから、政策変数の効果の予測も困難である。

(3)外部との競争関係はない。例えば価格を下げれば売上数字が増加するといった関係はない。それらについては、最も有利な政策をきめることが必要である。そのためには、別のモデルが必要になろう。

(4)変数の間の相互依存関係や波及効果は少ない。例えば、前述のような価格と販売量との関係はない。また次のような関係も一切織り込まれていない。

販売促進費の増加 → 売上量の増加

売上量の増加 → 標準在庫の増加

労働装備率の上昇 → 標準工数の減少

技術研究 → 標準原単位の低下

したがって、これらの方針については別々に決定することが必要になる。そのためには、別にマクロ的なモデルが必要になるかもしれない。このような相互依存関係を無視している理由の一つとして、短期的なモデルであることを上げうるであろう。例えば標準工数は、すでにある設備を前提として考えねばならない。労働装備率の上昇によって工数の減少するのは設備投資をしてからの将来のことであろう。したがって労働装備率と工数との関係を入れるには長期的なモデルとすることが必要になる。

(5)実績から政策変数へのフィード・バックのプロセスもない。すでに述べたように、これは人間が行なう。もっとも月末の製品の在庫が最低在庫を下回る場合には、生産の月別の配分を変更する。この変更はプログラムによって行なわれるから、この限りでは予測からのフィード・バックが入っている。また現金がある限度をこえると短期証券に投資する。

以上のような特徴を前提にしてマテジクのモデルを評価すれば次のようになろう。

(1)重ね合せの変更によるシミュレーションが可能である。ここで重ね合せの語を使ったのは、次のような意味である。このモデルは積み上げ的なモデルであり、変数間の相互依存関係はない。このために、サブシステムを比較的自由に変更できる。したがって例えば製品別に売上量を変化させることは自由にできる。それを変化させて、それらを合計すればよいわけである。これを「重ね合せ」の語で表現したのである。かくて製品構成の変化、

または製品別の販売と生産量の変化を重ね合せの変化によってその結果を予測しうる。

(2)増分計算によるシミュレーションが可能である。

設備投資をした場合に、その効果は、収益の増加、利益の増加、または費用の減少などの増分計算を普通行なう。それによって設備投資の評価を行なう。その増分を、設備投資をしない場合の値に増減することによって、企業全体のシミュレーションを行なうことができる。それによって総合利益がどうなり、また貸借対照表がどうなるかを予測しうる。

(3)政策変数が極めて多いために、最適の結果、または合格水準以上の結果をもたらす方針をきめることは困難であるが、コンピューターを用いたシミュレーションであるために、沢山の代替案の結果を直ちに知ることができる。手計算では到底考えられないような沢山の代替案の結果を知ることができる。

(4)モデルが詳細であるために、予算のみならず、標準原価計算に用いうる。またコンピューターを用いるために、予算の改訂も容易である。かくて短期の計画とコントロールに用いることができる。

以上は主として利点であるが、以下は欠点や問題点である。

(5)モデルが詳細であるために、リニア・プログラミングの利用やモンテカルロ・シミュレーションには不適當である。マジックはこれらが可能であると言っているが、このような詳細なモデルで上記の計算を行なうことは、実際問題として不可能であろう。

(6)モデルを単純化するために、直接原価計算の方法を入れることが考えられる。マジックのモデルでは、例えば製造間接費は12の費用項目を部分別、月別に配分するために12枚の詳細なシートが必要とされる。直接原価計算によって、このような計算は不要または非常に単純化される。とくに重ね合せの変化によるシミュレーションを行なう場合にはそう

であると言える。

(7)マクロ・モデルとの並用が考えられる。政策変数の決定のためには、相互依存関係、とくに対立的な関係の入ったモデルが必要である。例えば研究開発費は今の費用を増加させるが、将来の新製品を増加したり、また原価を下げるとか、または、販売促進費を増加すると売上が増加するといった関係である。いわゆる政策的支出 (policy cost) を決定するには、このような関係を知る必要がある。しかも今日においては、このような諸政策の決定が重要になりつつある。

- 1) R. Mattesich : Simulation of the Firm through a Budget Computer Program (1964).

IV 最適化を内蔵したモデル——リニア・プログラミングを内蔵したシミュレーション・モデル

1 モデルの概要

リニア・プログラミングを用いて最適解を求めたり、ラグランジュの乗数をもつ方程式の微分法で最適解を求めることは、シミュレーションと異なったやり方のように考えられるが、必ずしもそうではない。制約条件を種々に変えて、それによる最適解の値の変化を見ることもシミュレーションである。ここに石油企業でLP (リニア・プログラミング) を用いて行なったシミュレーションを検討してみる¹⁾。

第4.1表はそのLPモデルの全体である。(1)式と(2)式とは、産地別の原油の種類をあらわす。 $X_1 \sim X_5$ は産地別の原油の産出量をあらわす。等式における符号は、マイナスは投入をプラスは産出をあらわす。

(3)式より(4)式までは、産地の産出量の制限をあらわす。

(8)式は原油のまま外に売する場合のパイプラインの制限を示す。

(9)式と(10)式とは、原油をAとBの製油所へ

第4.1表 石油企業の

式の番号	産地別原油生産量					分類		精油所別原油消費量				原油の外売		製品	
						重い原油	軽い原油	Aへ、重い原油	Bへ、重い原油	Aへ、軽い原油	Bへ、軽い原油	重い原油	軽い原油	ガソリン	Aより
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
1	-1	-1	-1			1									
2				-1	-1		+1								
3	1														
4		1													
5			1												
6				1											
7					1										
8												1	1		
9								1		1					
10									1		1				
11						-1		1	1			1			
12							-1			1	1		1		
13								$-ag$		$-ag$				1	
14								$-ak$		$-ak$					
15								$-af$		$-af$					
16									$-bg$		$-bg$				1
17									$-bk$		$-bk$				
18									$-bf$		$-bf$				
19												1			
20													1		
21														1	1
22															
23															
24	$-C_1$	$-C_2$	$-C_3$	$-C_4$	$-C_5$			$-C_8$	$-C_9$	$-C_{10}$	$-C_{11}$	$-C_{12}$ r_{12}	$-C_{13}$ r_{13}	$-C_{14}$ r_{14}	$-C_{15}$ r_{15}

輸送するパイプラインの制限を示す。

(11)式と(12)式とは重い原油と軽い原油との精油所、および外売への割当を示す。

(13)式より(18)式までは、製品別の生産関数を示す。 ag などは原単位であり、生産関数のパラメーターである。

L P モ デ ル				変 数	制約条件
の 販 売 量	軽 油	重 油			
A B	よ り	A B	よ り		
X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}		
				$= 0$	} 重い軽いの種類
				$= 0$	
				$\leq K_1$	} 産地能力制限
				$\leq K_2$	
				$\leq K_3$	
				$\leq K_4$	
				$\leq K_5$	
				$\leq K_6$	外売用パイプライン
				$\leq K_7$	Aの精製能力制限
				$\leq K_8$	Bの精製能力制限
				$= 0$	} 原油の投入
				$= 0$	
1				$= 0$	} Aの産出
				$= 0$	
				$= 0$	
	1			$= 0$	} Bの産出
				$= 0$	
			1	$= 0$	
				$\leq D_L$	} 需要の制限
				$\leq D_H$	
				$\leq D_G$	
1	1			$\leq D_K$	
				$\leq D_F$	
$-C_{16} - C_{17}$	$r_{16} \quad r_{17}$	$-C_{18} - C_{19}$	$r_{18} \quad r_{19}$	} $= Z_P \dots$ 限界利益 (目的函数)	

は比例費(すなわち変動費または直接原価)を示す。 r は販売価格を示す。

C_1 から C_5 までは採掘の費用を、 C_8 から C_{13} までは輸送の費用を、 C_{14} から C_{19} までは精製と販売の費用をあらわす。

ここで、(23)式までの制限条件のもとで、(24)式の目的函数を最大にする解を求めるとすれば、それは通常のLPの最大化の問題であり、シミュレーションではない²⁾。

ここでシミュレーションをいかに行なうか、それは制約条件を種々に変化し、それに伴う利益や費用の項目を目的函数の式に附加して行なう。

(イ)技術の進歩によって、原単位(ag など)が低下し、また採掘、輸送、精製の費用(C)が低下したら利益はどのように増加するか。

(ロ)需要(D)が増大したら利益はどうなるか。

(ハ)設備投資を行って、能力の拡張を行なったらどうなるか。

すなわち、

第2年目の設備能力=1年目の設備能力+1年目の追加投資。これを第4.1表のA精製所の精製能力制限であらわせば、

$$K_7^2 = K_7^1 + Y_7^1$$

となる。上の添字は年度をあらわす。

この場合、追加投資 Y_7^1 は、第1年目の設備費は固定費用の増加となるから、この項目を目的函数に加えねばならぬ。すなわち、追加投資を Y_6^1 、 Y_7^1 、 Y_8^1 とすれば、

$$-C_1 X_1 - \dots - C_{19} X_{19} + r_{12} X_{12} + \dots$$

$r_{19} X_{19} = Zp$ に $-(mY_6^1 + mY_7^1 + mY_8^1)$ を加えねばならない。したがって目的函数は、

(19)式より(23)式までは、原油の外売および製品の販売の需要制限を示す。

(24)式は限界利益を示す目的函数であり、 C

$$Z_p^1 = -\sum_{i=1}^5 CiXi - \sum_{i=8}^{19} CiXi - m\sum_{i=6}^8 Yi + \sum_{i=12}^{19} riXi$$
 となる。

ここで能力 Y が増加すれば、販売量も増加し、それに伴って収益も費用も増加することは言うまでもない。

第3年目についても同様に追加投資を行なって、それにより、制約条件を変え目的関数も変える。

5年間の利益を現在値に直すには、

$$Zp = \frac{Z_p^1}{1+k} + \frac{Z_p^2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Z_p^5}{(1+k)^5}$$
 とすればよい。 k は資金コストをあらわす。

そして追加投資を種々に変化させてみて、 Zp を最大にするLP解を求め、 Zp が追加投資に伴って如何に変化するかを見る。

(1)目的関数も利益額最大だけでなく、他の目的関数も用いてみる。例えば、一定の利益額を確保して売上高最大の解はどれか。これを求めるためには、 $Z_p \geq Z_p^*$ とおいて(ただし、 Z_p^* は目標利益額)、 $\sum_{i=12}^{19} riXi = Zr$ を目的関数にすればよい。その解は、利益額最大の解と如何に異っているかを見る。

(2)感度分析を行なう。すなわちパラメーターや制約条件を1%変化させてみて、それが利益額(その他の目的関数)を何%変化させるかを見る。(パラメトリック・プログラミングを用いれば、制約条件がいくらの範囲まで、何%のシャドウ・プライスカを知ることができる)。重要な要因については予測に注意したり、また技術研究によって改良する。なお、制約条件の感度は、最終解のシャドウ・プライスによって判明することを注意しよう。

2 このモデルの評価

このモデルの特色をあげると次のようである。

(1)単なるシミュレーションではなく、最適値を求めるプロセスを内蔵したシミュレーション

である。他のシミュレーションでは、政策変数と目標変数との中間は、固定的な数量関係だけに終わることが多い。

中間のプロセスが変わるという点では、前述のポニの適応的学習モデルと似ている。LPを内蔵したモデルは、学習的ではないが、条件の変化に適応するという意味では適応的なモデルである。

一般のモデル、例えば前述のマテジクの予算モデルでは、例えば、材料の原単位などは固定している。これはその原単位が最も有利な組み合わせであることを前提としている。また原材料には制限がないことを前提としている。つまり、最適解がわかっていることを前提としている。

(2)相互依存関係の入ったモデルである。例えば、ネックになっている設備がA精製設備であるとして、それを拡張すると、Bの精製計画が減少するかもしれない。このとき、すべての X の値が変化することがありうる。このように、一つの条件の変化が製品構成や原料の構成をも変化させるという関係が入っている。その変化は、利益を最大にするために必要な変化である。

これに反してマテジクの予算モデルでは、相互依存関係はなく、計画の変更は重ね合せの変更による。そして相互依存関係は、モデルの外で計算するよりほかにはない(例えば一つの製品を増加すると、設備能力からみて他の製品を減少させるといった計算は、モデルの外でやる)。

(3)企業全体のシステムのモデルである。LPは企業の部分的なモデルであることが多いが、このモデルは企業全体のシミュレーションである。

(4)コンピューターを用いて計算する。第4.1表のほかに技術的な制約も入れて、5年間で約500の変数400の方程式式であるが、これを手で計算したら代替案を考えていることができない。コンピューターを用いることによ

って、いくつかの代替案を計算してみる事ができる。もっとも、コンピューターを用いても5年間の一回の計算に2ないし3時間を要するから、それほど多くの代替案を検討するわけにはゆかないかもしれない。

以上がこのシミュレーションの利点とも言える特色であるが、以下は欠点である。

(5)このLPモデルの制約条件に一般性があるかどうかである。一般の企業においては原料の制約はない。また設備も、必要に応じて増設することができる。設備の制限はむしろ資金の制限からくるので、資金的な制約、例えば負債の割合などが制限になることが多い。かくて制約条件の(3)式から(11)式までは一般に起こることは少ない。

需要の制限は一般の企業にも存在し、利益最大の製品構成を求めるのは一般性がある。だが需要の制限だけでは、その制限一杯まで生産し販売することが最適解であることはモデルを一見して明らかで、LPを用いる必要がない(そこで、前述の資金の制限などを加える必要があろう)。

(6)生産に重点のあるマクロ的なモデルである。費用のなかには、変動製造原価、変動販売費、変動管理費などすべて含まれている。

しかし、このモデルでは直接原価計算をやっているので、固定費は費用のうちに含まれない。ただし追加投資による固定費の増加は、長期的な変動費として費用のうちに入る。このために単純化させていると考えられよう。しかし、技術研究費を増加して原単位を低下させることが、販売促進費を増加して需要の制限を拡大するとかの関係は、このモデルの外でやらねばならない。新製品の追加なども、このモデルに新しいモデルを追加するか、またはこのモデルの外で行なわねばならない。

1) Rapoport & Drews : *Mathematical Approach to Long-Range Planning*, Harvard Business Review, M-J, 1962.

2) このLP問題を解くには、(1), (2)式をそれ

ぞれ(1), (2)式に加え、かつそれを(10), (20)式から差し引く。さらに(13)式から(18)式までを用いて式(21)から(23)式までを操作すれば、結局等式はすべて消えて、13本の不等式だけになるから、これを解くことはそれほど面倒ではない。

参考文献

(1) 清水幾太郎編訳「社会科学におけるシミュレーション」(昭和40年)。

(2) 河野豊弘「経営計画の理論」(昭和41年)

(3) Cyert & March : *A Behavioral Theory of the Firm*(1963).

(4) C. P. Bonini : *Simulation of Information & Decision Systems in the Firm* (1963).

(5) J. W. Forster : *Industrial Dynamics* (1961).

(6) R. Mattesich : *Simulation of the Firm through a Budget Computer Program* (1964).

(7) Rapoport & Drews : *Mathematical Approach to Long-Range Planning* (Harvard Business Review, M-J, 1962)

(8) Kiffel, Craft & Nanus : *Management Games* (1961).

(9) Greene & Sisson : *Dynamic Management Decision Games* (1959).

(10) G. R. Andlinger : *Business Games-Play One!* (Harvard Business Review, M-A, 1958)

(11) S. Vance : *Management Decision Simulation* (1960).

(12) J. L. Mckenny : *Simulation Gaming for Management Development* (1967).

(13) H. M. Weingartner : *Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems* (1963).

(14) H. Albach : *Investion & Liquidität* (1962).

(15) 河野, 染谷, 諸井編「企業財務ハンドブック」(昭和42年)。

(16) 日本生産性本部「長期経営計画コンピューター・シミュレーション・モデルLPCSモデルI」(1968)未公刊資料。

(17) 山本績「経営問題に対するシステムの考察の方法とその応用性について」(東京工大修

企業のシミュレーションについて

士論文，昭和40年）。

- (10) 海野秋津「シミュレーションを利用した長期計画」（『企業会計』1967年12月号）。