

# 計算機 オペレーションズ・リサーチ 線型計画

祭原光太郎

これはさきの「オートメーションと生産管理」(立命館経済学、昭和三十一年一〇月号所載)に引きつゞき、おなじくウィリアム・ウォリス博士の「生産管理論」(William Voris, Ph. D., Production Control, Text and Cases, Richard D. Irwin, inc. 1956.)の終りの二章(p. 336-402.)、第十五章 計算機

第十六章 オペレーションズ・リサーチと線型計画の所説を要約紹介せるものである。

## 計算機

本質と種類 オートメーション工場および生産管理の頭脳

計算機 オペレーションズ・リサーチ 線型計画(祭原)

と心臓をなすものは計算機 (computors) である。「計算機」という言葉は卓上計算機のようなものにも使われるが、近くではそれは、ひとたび運動のうちにおかれると、もはや人の干渉をうけないで、一連の計算や一つの問題を解くべき諸階程を、みずから遂行しようとこの機械をさすようになりつゝある。

計算機をつくるにいたつた最初の動機は、数学的な問題を解くための一つの手段を導入することにあつたけれども、数学的なデータ以外の情報も計算機であつかうことができる。その信すべからざる速さ、論理的な思考を追い、あれかこれかの選択をなしうるその能力は、経営上の色々な情報をあつ

かうのに適している。それで人によつては計算機 (computors) とよぶのを不適当なりとし、むしろ情報機 (information machines) とよばんことを主張するものさえある。

今日用いられている計算機には、大きく二つの種類がある。(1) 相似計算機 (analogue computers) と (2) 数字計算機 (digital computers)。

相似計算機というのは、解かるべき問題に相似した、性質上物理的な、一つのシステムである。計算するのではなくして、決定さるべき変数の数量に相似するところの物量を測定するのである。たとえば一つの石油精練システムの相似が組立てられ、実際の精油システムが当面するであろうところのあらゆる諸条件に服せしめられる。これによつてそれが実際に運転される前に、データの大部分がそれからとりだされる。また標準的なもしくは正常的な遂行が相似機のうちに組みこまれるので、実際の石油精練システムを、この相似情報機によつてコントロールすることができる。すなわち標準作業にたいし、実際の作業をつねに測定しうる。

数字計算機は計算をおこなう機械である。機械にかけるために、すべての情報が数字にかえられる。機械はこれを消化

して、数字のかたちで求められた情報を提供する、あるいは質問に回答するのである。この数字は使用のためふたたび情報に反訳される。

またときとして相似計算機は専用(単能)計算機とよばれ、数字計算機は汎用(万能)計算機とよばれる。専用計算機の例としては、在庫品を明らかにするために作られたものをあげることができる。すなわちこの機械は、工場が受入れたすべての部品や原料をそれぞれ同じ項目の手持高にくわえ、各品目の現在高を瞬時に読みとり、一時間毎に、一日毎に、一週毎にその総棚卸高を通報する。

汎用計算機はこれよりもはるかに融通性のあるもので、その能力の範囲内でいかなる計算をも遂行しうる。使用者は機械によつて遂行さるべき各仕事につき、みずから膳立(プログラミング)を行わねばならぬ。伝達は符号にかえられ、テープにのせ、機械にかけられる。たゞこの膳立は時間と経費のかゝる仕事である。

相似計算機 相似計算機は前述のごとく、用いられつゝあるシステムに、いゝかえれば解かるべき問題に相似した二つ

の物理的なシステムであつて、とくにその電氣的なものには（これには機械的なものと電氣的なものがある）、工業生産の工程やシステムの模型や相似をつくるのにきわめて有益である。それは実際の進行の予備テストとして用いられ、又實際をコントロールするのに役立つ。

ところがこの種の計算機はその非融通性のゆえに、断続生産（オートメーションと生産管理）——立命館経済学、昭和三十一年一〇月号所載（参照）における作業機をコントロールするのは用いがない。したがつて断続生産のばあいそのオートメーションを進めるためには、むしろ数字計算機に頼らねばならぬ。M・I・T・（マサチューセツ工芸学研究所）では、カードや紙テープ、磁気テープやフィルムのような媒介手段に数字的符号であらかじめ記録された数字による伝達をつうじ、人の干渉なしに機械を動かすところの数字的制御が実験されている。これは断続生産にたいする朗報であるように思われる。けだしそれは指図書別工場にたいするオートメーション化の見とおしを与えるものだからである。

**数字計算機** 数字計算機は人が指やなにかで計算するよう

計算機 オペレーションズ・リサーチ 線型計画（祭原）

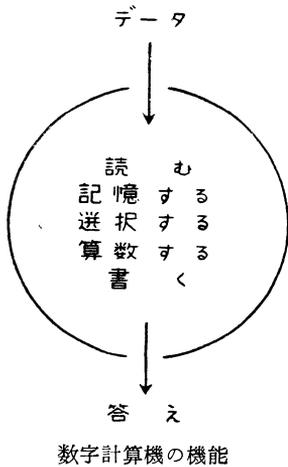
に計算をおこなう機械である。それは加減乗除をおこなう。そうして一般につきのような働きをなす。すなわち

- ① この機械は符号に変えられ且つ磁気テープあるいはパンチされたカードにするされた情報を読む。これは計算機の投入部分でおこなわれる。

- ② それは読んだものを間違いなしに記憶する。それは頭脳こそもつていないが、色々の装置でそれ以上の働きをする。

- ③ それはあれかこれかの選択をなしうる。

- ④ それは磁気テープあるいはパンチされたカードで回答をあたえ、もしくは制御をおこなうことによつて外部と連絡する。



計算機はあらゆる情報をあつかうことができる。それは数字が言葉とおなじく単なる符号だからである。たとえば「女」という言葉は計算機では「〇〇一」であらわされる。

計算機はふつうに用いられている十個の数字のシステムではなくて、二元数字 (binary numbers) をあつかうように作られつゝある。このシステムは1と0のたゞ二つの数字から構成される。言葉や数字が1と0の色々な組合せにかえられるのである。これは無限の可能性と弾力性をもつ（前記「女」の例参照）。

数字計算機の用途として次のごときものをあげることができさる。

- 1 資料を総括したり表を作ったりする統計上の作業に。
- 2 純粹の数学的な問題を解くために。
- 3 会計、賃金計算、棚卸記録などの経営実務に。
- 4 行程や機械をコントロールするために。

数字計算機はたいていの作業機械の作業を自動的にコントロールする手段を供する。製品の連続的な流れが実現するようにならばそれらが結合されると、全自動工場が可能となる。かくて連続生産にあらたな展望がひらかれる。多くのばあい作業

の全部でなくとも、一部は自動的な基礎のうえにおかれるから、断続生産についても希望がもたれることになる。生産管理の分野では、計算機はつきのような諸問題を容易化するのに用いられる。

- 1 日程の企画
- 2 機械の負荷
- 3 材料の調整
- 4 労務の負荷
- 5 予測

**両者の比較** 相似計算機と数字計算機とを比べると、つきのような相違点をあげることができる。

1、相似計算機は解かねばならぬ問題のタイプに相似した一つの物理的なシステムである。これにたいし数字計算機は計算する機械である。

2、相似計算機は数字計算機よりもかんだんである。コントロールの仕事がヨリ複雑なものになると、相似計算機では工合がわるくなる。この点数字計算機があつかいどころの問題や工程の複雑さには限度がない。

また相似計算機はあまりに負荷がかちすぎると、震動と騒音になやまされる。数字計算機はまったくそれらからまぬがれる。

3、相似計算機の精密さは、物量があつかわれ測定せられるその正確さの程度に限界づけられる。これに反し数字計算機は欲するところまでこれを精密ならしめることができる。

4、相似計算機は正味の時間で作業する。すなわち問題を与える、直ちに回答する。ところが数字計算機は答えを得るのにヨリひまがかかる。それは臆立(プログラミング)の必要があるからである。

5、ばあいによつては数字計算機が相似計算機の監督者となる。それは相似計算機の作業を調整するのに役立つ。

計算機の使用による便益 計算機の使用によつて得られる

便益を要約すると、つぎのとおりである。

### 1 事務労働

イ 仕事の階程を減らしうる

ロ きまつた手続に対する例外をとりあつかう

ハ 以前には機械化されなかつた事務労働の領域へ入り

計算機 オペレーションズ・リサーチ 線型計画(祭原)

こむ

2 ヨリ良き管理と統制

イ 生産管理

ロ 労務需要の企画

ハ 販売分析

ニ 在庫統制

ホ 研究

へ 機械および工程

## オペレーションズ・リサーチ

オペレーションズ・リサーチとは何か オートメーション工場の発達と平行して、管理の領域に急速な成長をみせたのは、オペレーションズ・リサーチ(運営研究)と称せられるものである。オペレーションズ・リサーチはいく分定義しがたいが、ともかくこれは数学者、物理学者、化学者、統計学者、社会学者、その他管理問題の解決にたずさわる人々の各種の学問的知識の利用を必要とするものである。オペレーションズ・リサーチはつねに一つの協同作業である。

事業管理の基本問題の一つは decision-making である。

G・E・キムボール博士はデシジョン・メイキングがつねに三つの部分から成ることをのべている。すなわち① そのあいだに選択がなされるべき可能な行動の諸コースを明らかにすること、② 可能な行動のそれぞれのコースをとったばあいの結果を分析すること、③ そのうちの最良のコースを選択決定すること。ところで決定をなすべきこの第三の段階において、選択しうる諸コースが明確であり、それらの各コースをとったときの結果がハッキリと予想されるばあいには、決定をおこなうことはきわめてかんたんである。キムボールはこれを第一種の決定とよぶ。

しかしある行動のコースでハッキリと予言できないようなものを含むばあいがある。このばあいにはその決定が、間違つたものになるかもしれないというチャンスの要素が存するであろう。キムボールはこれを第二種の決定とよぶ。この種の決定をあつかうために確率の理論が生まれた。もしおこりうべき色々なチャンスの要素にたいして計算的な確率を割当てることができるならば、これらの確率から各行動のコースについてそれぞれ予期される結果が計算される。そこで予期される結果の最良なるべき行動のコースをえらばばよいこと

なる。

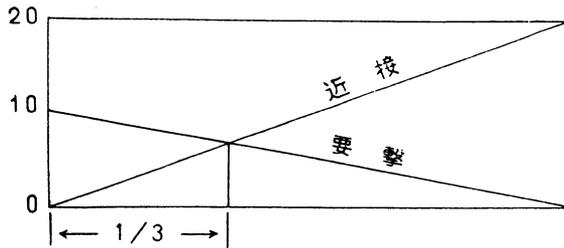
ところがさらに偶然の要素のためではなく、全く未知のに諸要素のために結果が予言できないというようなばあいがある。未知の諸要素をふくむばあいの決定は、第三種の決定である。この種の決定の解決は、オペレーションズ・リサーチの技術を用いることによつて容易になされうるのである。

かくてオペレーションズ・リサーチはこの第三のタイプの問題にたいし、数学的な解決もしくは決定を供するものである。キムボールはフットボールの例を用いてこれを説明している。フットボール・チームのコーターバックは、どのようなプレーをおこなうべきか、たとえばライン・プランジ (line plunge) かそれともフォアワード・パス (forward pass) かをきめるのについて、つねに未知の諸要素に当面している。この未知の要素は、防禦チームが用いるところの防禦の種類である。いまかれらは、ライン・プランジをくい止めるために近接防禦 (close defense) を用いる、あるいはパスをくい止めるために要撃防禦 (deep defense) を用いるかすると仮定する。そうして近接防禦に対してパスによつて得られると予想されるヤードのゲイン (gain) が二〇、要

撃防禦に対するブランチから得られると予想されるゲインが一〇ヤードであることを示すところの図表 a を作る。

防 禦	攻 撃	
	バック	パス
近 接	0	20
要 撃	10	0

a 図



b 図

いふまでもなくコーナーバックは終始フォワード・パスに、あるいは終始ライン・バックに頼るということはないであろう。おそかれはやかれ防禦者は時間中に、近接防禦か要

計算機 オペレーションズ・リサーチ 線型計画(祭原)

撃防禦かを用いるであろう。コーナーバックはかれのプレイをミックス(混合)せねばならぬ。そこで問題は、この混合の割引如何ということである。パスは時間の半分おこなうべきか、あるいは半分以上であるべきか、あるいは半分以上であるべきか。b 図は個々のパスによって得られるヤードのゲインをグラフで示したものである。

近接防禦にたいしては、ゲインは各パスにつれて0から二〇ヤードにふえる。防禦チームが要撃防禦を用いるときは、ゲインは各パスとともに一〇ヤードから0へ減ずる。パスのフラクション(Fraction of passes)が三分の一であるときに、二つの線は交叉する。もしコーナーバックが三分の一以上のパスを用いるならば、防禦側はあらゆるプレイについて要撃陣形を用いるであろう。しかしコーナーバックが三分の一以下のパスを用いるならば、防禦側はつねに近接陣形を用いるであろう。どちらにしてもコーナーバックは、かれが丁度三分の一のパスを用いるときに得られるところ(これは各防禦にたいしてのまの予想されるゲインを生む)よりも少なくゲインするであろう。同様にして防禦側の選択を検討すると、われわれは最良の防禦が、三分の二の要撃陣形と三分

の一の近接陣型との混合であることを見いだす。この混合は各攻撃ブレイのゲインをのびやードのゲインに抑える。それゆえこゝに見いだされたもの以上にゲインを生み出すような攻撃戦術はない。

このような決定の理論は、とくに競争しつゝある会社の事実上の諸問題にあてはまる。競争者間の未来の戦術はつうじよう未知のものである。たとえば広告戦の成功はその特定の会社が、いかによくその企画をたてるかにかゝるばかりでなく、また競争者が何をしようとしているかにかゝる。

#### 適用 M・I・T・の物理学教授モースは、オペレーシ

ョンズ・リサーチの興味ある適用例を示している。たゞそれらはいずれも生産にかんするものではないが、その技術は早晩生産の領域にも適用されるにいたらう。

#### a 順待ち行列の理論

モースの考えによれば、オペレーションズ・リサーチは一つの統合機能であるという。これはオペレーションズ・リサーチが一つの協同作業であるという考えと結びつく。かれはオペレーションズ・リサーチ技術の色々な例をしめしている

が、それらはすべて研究者のチームによつてつくられた数学的なモデルまたは仮定に基礎をおいている。その一つは順待ち行列の理論（The waiting line or queuing theory）であつて、これは電話交換の研究について生れたものであるが、しかしそれは自動車輸送や大空港における飛行機の着陸やチェイン・ストアの顧客や生産工程線にも適用される。この順待ち行列の理論は諸単位がある地点へ不規則な率で到着するばあいの運営の利解に役立つであろう（この内容についてははぶく）。

#### b 努力の最適配分

オペレーションズ・リサーチの他の適用例は、努力の最適配分の理論である。かりにある事業が多くの小売商を得意とする一定数の販売員を有するとする。これら小売商のあるものは大きな店で、訪問したとき大口の注文がもらえる。又あるものは小さいな店で、しぜん小口の売上しか得られない。もしも十分な販売員がいるときは、販売費は高くつくけれども、各月すべての店舗を訪れて最高の売上が得られるであろう。しかし販売員の数がヨリ少ないときは、理論上大きな店は小さいな店よりも一層しばしば訪問さるべきことがしめさ

れる。販売員がきわめて少ないときは、大きな店だけが訪問されるべきであろう。もし各店舗の確率的な売上がわかれば、販売努力の最適なる配分が計算される。

#### 組織とコスト オペレーションズ・リサーチを事業で実施

するはあい問題になるのは、その担当者を組織上経営内のことへおくか、ということである。E・H・ジョンソン博士は、それが会社の種々なる全般的な問題の解決に貢献せんがため、トップ・マネージメントに直属するところの一つの独立の部門として設けらるべきだという。かれはオペレーションズ・リサーチはまさしく一つの協同作業であり、最少五人から一五人位いのグループが必要であると考えている。

T・W・ポコックはこのような高給の科学者から構成されるオペレーションズ・リサーチ部門を設けることは実際的ではないとし、むしろ会社内に現に存している主要諸部門のおおの、一つのオペレーションズ・リサーチ機能をおくべきであるという。しかしこれは無理であろう。オペレーションズ・リサーチはひとりの人の知識であつかいうるような性質のものではない。それは協同作業であつて、ひろく数学

者、統計学者、物理学者、化学者および経済学者たちの知識の結集を必要とする。

次にオペレーションズ・リサーチはいつたいどれ位いの費用がかかるかという問題がある。しかしこれについてはオペレーションズ・リサーチにかんする情報がまだ少ないので（一つにはそれがあまり用いられておらず、一つには用いられていても、情報が公けにされない）、この問題に答えることは困難である。たゞジョンソン博士の研究によると、会社はこれにたいし総売上高の一パーセントの十分の一ないし二分の一程度の支出をなしうるものと見積られている。

評価 オペレーションズ・リサーチ（その適用はこゝにみらるゝとおり生産管理の領域よりもはるかに広汎なものであるが）の評価については、経営コンサルタントや管理の仕事に従事する人々の意見の間にいちじるしい相異がみられる。あるものはオペレーションズ・リサーチは、現在コンサルティングに関係していない人々が、コンサルティングにはいるための一つの企てであるとしており、又あるものはオペレーションズ・リサーチは、産業革命以来管理上の decision-

making における最大の進歩であると考へてゐる。けつきよく真理はこの両極の間にあるといえよう。

ところでオペレーションズ・リサーチについて困つたことは、一般の経営者がこれを理解し得ないということである。オペレーションズ・リサーチに用ゐらるゝテクニクは、高度に熟練した技術者のそれである。一般の経営コンサルタントも、科学畑の人々と協同するものでなければ、この要具を使うことはできない。おそらくオペレーションズ・リサーチの分野は、つねに訓練された科学者のものに属するであろう。このことはその一般的な利用にたいする重大な障害とならう。大学は経営科関係のものでオペレーションズ・リサーチを用ゐるような人々を送りだしてはいない。大学卒業者の数学の知識は実際上ゼロである。オペレーションズ・リサーチがひろく用ゐられるようになるためには、この点の根本的な改革が必要である。

## 線型計画

本質 とくに生産管理の領域に適用されたオペレーションズ・リサーチの一つは、いわゆる線型計画 (linear pro-

gramming) である。こうはいつても線型計画が、生産をスケジュールする方法として広く用ゐられているというわけではなく、生産管理におけるその使用可能にかんし、多くの研究がなされてきたという意味である。それは最近発展した応用数学における一つの技術であつて、かんたんな計算により、色々なる変数をふくむところの複雑な問題を解くことを可能ならしめんとするものである。

線型計画とよばれるのは、それがあつかうところの典型的な問題が、数学的に直線方程式のかたちで示されるところからきている。ほんらいそれは、多くの変数を同時に考慮し、示された限度内で与えられた問題の最善の解決を求めんとする方法である。たとえば機械の能力が  $200 = 3X + 2Y + Z$  という方程式であらわされる。これは 200 時間運転しうる機械で加工されるところの、一個当り三時間を要する X の単位数、一個当り二時間を要する Y の単位数および一個当り一時間を要する Z の単位数を示すところの直線方程式である。

方法 線型計画の主な方法には次のこときものがある。

### 1 単純法 (The Simplex Method)

2 修正配分法 (The Modified Distribution Method)

3 指数法 (The Index Method)

単純法 (これは実はもっとも複雑なので誤りやすい名称であるが) と修正配分法は、総合計画 (overall planning) をふくむところの色々な問題に適用しうる。たとえば従業員が各種の部門で一年中安定して仕事をつらげうるように、雇用に平準化するとか、あるいは製作すべきかそれとも購入すべきかの決定を助けるとか、あるいは諸製品が一群の機械をおつてゆく際のもっとも有利なルーティングを決定するというとき、指数法は日程企画や機械負荷の問題を解決するのに適している。

**指数法** 指数法はかんたんで早やく、小規模な指図書別工場を使うのに便利であり、将来はもっとも広汎に用いられるようになるであろう。

いま小さな工場で三つの機械を使い、四組の注文品を加工するものと仮定する。注文品各組の個数はつぎのごとくである。

注文 1 —— 25個

注文 2 —— 10個

計算機 オペレーションズ・リサーチ 線型計画 (祭原)

注文 3 —— 20個

注文 4 —— 50個

それぞれの機械で各注文品 1 個を加工するのに要する標準時間 (分) のこと。

	A 機械	B 機械	C 機械
注文 1	3	1	2
注文 2	2	-----	1
注文 3	3	2	1
注文 4	-----	-----	2

指数法の根本は、各仕事を最少時間で加工しうる機械を他の機械と比較するにある。そのアイデアは最良の機械にできるだけ多く加工せしめ、もって最適の機械負荷をなさしめんとすることである。

注文品の加工について、まず最良の機械の所要時間を指数 0 とし、それぞれの注文品にたいする各機械の指数をきめ

る。たとえば注文1にたいするB機械の所要時間1時間を指数0とする。注文1にたいするA機械の所要時間の指数をみいだすには、3時間から1時間を引き、これを1で割って2を得るのである。これが注文1にたいするA機械の指数である。同様にして注文1にたいするC機械の指数を計算すると1となる。かくしてそれぞれの注文品にたいする各機械の指数はつぎのようになる。

	A機械	B機械	C機械
注文番号	指 数		
1	2	0	1
2	1	---	0
3	2	1	0
4	---	---	0

各機械の可能な時間総数つぎのごとし。

A機械 100時間  
B機械 50時間

以上のデータから、各機械はつぎのように負荷される。

C 需要 100時間

注文番号	A 機 械		B 機 械		C 機 械	
	注文に対する時間	指数	注文に対する時間	指数	注文に対する時間	指数
1	(75)	2	30	0	60	1
2	(20)	1	--	-	10	0
3	60	2	(40)	1	20	0
4	--	-	--	-	(100)	0
能力	100		50		100	
利用	95		40		100	

註文1は指数が0であるところのB機械に割当てられねばならぬ。また註文2はC機械に割当てられねばならぬ。ところが註文4はたゞC機械でのみ加工しうるのであるから、一〇〇時間の全能力をこれにふり向けねばならず、したがって註文2はA機械で加工されることとなり、一〇時間よけいにかゝることになる。

註文3はCでなざるべき筈であるけれども、これも亦註文2のばあいと同じ問題が生ずる。このさい次善の機械はB機械である。B機械が註文3に用いられるとすると、註文1は次善の機械すなわちA機械に変更されねばならぬ。なぜかというにC機械はすでに能力いっぱいだからである。

右の図においてカッコをつけた数字は選択されたものを示す。すなわち機械Aは一〇〇時間の全能力を使って註文1と2を行う。B機械は能力五〇時間のうち四〇時間を使って註文3を行う。C機械は註文4をおこなう。

単純法と修正配分法については説明をはぶく。

評 価 線型計画は生産管理の問題の最善の解決をうるために、ひろく用いられているところの方法ではない、という

計算機 オペレーションズ・リサーチ 線型計画(祭原)

ことをまず明らかにしておかねばならぬ。それがひろく用いられるかどうかについては、実際家の間で疑問がもたれている。このような抵抗は当然予想される、ところである。ただし今日生産管理にたずさわっている人たちは、このような方法を用いるべき資質を有しておらず、又今後も有しないであろうからである。

1、線型計画の問題は、数学者や統計家や技術者にとつてはごく初歩的なものであるが、今日のアメリカの一般工場経営者にとつては側目せしめるものである。生産管理の担当者はずうじよう技術者ではない。かれらは管理者であつて、数学者ではないのである。

2、線型計画の広汎な利用にたいする第二の障害は、線型計画の研究をおこないつゝある人々が、生産管理の問題にかんする知識を欠いていることである。それゆえかれらのしめす例は、その実際の適用について、経営者を納得せしめうるような真実性のひびがない。

3、さらに第三の障害は、生産管理部門が方程式を用いることなしに、管理問題の最善の解決に成功しているということである。じつさい経験ある管理担当者は、未知数を解くと

いうようなことをしないで、最善のルーティングや機械の利用をきめることができる。

けれども工場が完全なオートメーションに近づき、生産管理の機能の性質がかわってくるにつれて、生産管理にたずさわる人々は、数学や技術について一層多くのことを知らねばならぬであろう。そうして計算機が問題解決の容易さと経済とをいちじるしく高めるであろう。このような情況のもとに、ヨリ多く数学的な方法が工場問題解決のために用いられることゝなるであろう。