

# 講座

## オペレーション ・リサーチ

[ 1 ]

近畿大学講師

藤 沢 俊 男

オペレーション・リサーチとは、一組織にその運用に関する決定のための数量的基礎を提供する、科学的方法である。

### 1. 概 論

#### 1.1 ORとは何か

オペレーション・リサーチ—Operations Research, 略してOR—とは何かという問いに簡明に答えることは難しい。すなわち人によつてそれに対する考え方かなりのちがひもあり、また簡単に説明するとなると誰でもちよつと困るのではないかと思われる。しかし、現在軍事面から産業面にわたる広い分野においてORという名前ではばれている活動は冒頭にかかげた定義に要約されるようである。

まず、ORのいくつかの特徴を冒頭の定義のなかから拾い出してみよう。「組織」というのは軍、政府、企業など人と物財が一つの目的のもとに結合されたものであり、規模の大小を問わないから一工場、一商店、一部課でもよい。「運用」とは、軍事ならば兵の運用であり、企業においてはその業務の運営のことであると解釈してよい。「決定のための」という言葉は、組織の行動に直結する問題に参与するものであるというORの現実的性格を含んでいる。すなわち個人の恣意によつて問題をとりあげるのではなく、現実に組織がどのような方策をとるべきかになやんでいる問題を解決しようとするのである。「数量的基礎」を提供しようというのであるから「科学的方法」であるのは当然のこととして、このなかには従来個人の経験や直観に委ねられていた事柄をできる限

り計量しようとし、明確な数量的基礎の上に合理的な決定をすべきであるというORが発展してきた動機ともいうべきものが見られる。「科学的方法」である以上は、「経験的、直観的方法」とちがひ、誰でも勉学、訓練によつてORマン（またはウーマン）たりうることは当然であろう。最後に注意すべきは、この定義は、ORがそのえた数量的基礎にもとづいて決定（Decision）をなすとはいつていないことである。ORは決定のための資料を提供するだけで、業務執行の権をもつ人々が他の事情（計量できなかつた要素もあろうし、またあまりにも面倒でORによる解析にとり入れられなかつた要因もあろう）をかえりみて決定を下すのである。これはORの仕事が客観性を保ち、区々たる利害にとらわれないためにも必要なことであろう。

以上のことから知られるように、ORは組織において決定をなし、業務を執行するところの執行部のために働くものである。そしてORは組織の運用に関する問題をとくために利用しうるすべての科学技術の方法を用いる応用科学である。したがつてORは工学の一分科であるといつてよいであろう。それは他の工学—機械工学、電気工学等—とどうちがうのか。他の工学は主として機器そのものやその製造に関するものであるのに対して、ORはそれらの機器—人的要素を含めて—をどう運用するかに関するものである。ここから、ORのもう一つの定義がえられる。「ORとは人間、物財からなる組織の運用に関する応用科学（Applied Science）である」

ではORは現実にはどんな問題を取りあつかうのか。この問に対して、いままでにとりあつかわれたORの問題を並べたててみても大して役に立たないであろう。ORは尚若く、どれ程沢山の潜在的なORの問題があるか予想もできないからである。ORの性格を明らかにするには次の一例および次節の一例だけで充分であろう。製造業において、販売部は顧客を、品物の量、組合せ、納期のいずれにおいても、満足させるようにつねに供給をおこないたい。ところで工場は少数の品種をそれぞれ一度に多量につくること、および販売量の季節的変動に関係なく年間を通じて一定の操業度を保つことを主張する。両者の要求を満すためには常時多量の在庫品をかかえておくより手がない。しかし財務部はかような負担と危険には真向から反対するであろう。問題は、企業全体としての目標のために、顧客の要求、限られた資金と設備、人員に応じて製造活動をどのように調整すればよいかである。これは明白にORの対象になる。そして、事実、この種の問題はこれまでORの成功をおめた分野の一つである。企業の諸機能—販売、製造、財務など

——の利害は必ずしも一致しないが、要は企業全体として最良の決定をなすことである。組織の運用とは、つまるところ、組織を形成する諸機能の活動を組織全体の目標達成に向つて統合することであるから、このいみで「OR」とは、組織の諸機能的構成部分の交互作用を伴う問題に対する、科学的方法の応用であり、それによつて組織全体として最良の決定をなすための数量的基礎を与えるものである」ともいわれる。上述の在庫問題などでは、最適の在庫量ということが問題である。ORでは一目標の達成に対して「最適 (Optimum)」であるように運用を計画するものであるから、Optimum Researchであり、これがつまつて現在ORのことを Opsearch, ORマンのことを Opsearcher ともいうのであるという説もあるが、これは冗談である。

ORは第二次世界大戦の初期、正確には英独間の戦争勃発前時、英国ではじまったものであり、Operational Research とよばれた。英国は現在でもこの名称をつかっているが、これは Operations Research とともに端的に作戦研究をいみしてつけられたことばであつた。ところが Operation ということばには作業とか運用というような内容も含まれているので、戦後軍に限らず一般にこのことばをそのままつかっているのである。最初のORは、多分、英独間の戦争勃発直前に英国で実用化にいたつたレーダーを英本土防空の機構にどうくみ入れるかについての研究であつたと思われる。数学者、物理学者、生物学者、心理学者など10人あまりの人々が、この研究のために、防空司令部に配属された。この研究によつて、レーダーの使用は独空軍の攻撃を阻止する確率を10倍にも高めることがわかつた。しかし更にORによる運用研究の結果、その2倍に戦闘機隊の能力を増強せしめうる方法が案出された。設備を2倍にして能力を2倍に増強したのではない。科学者達の創造的研究による運用の改善だけによつて、これだけの附加価値が生じたのである。この話は「科学者の智的活動」に対してあまり投資したがないわが国の悪習に対して頂門の一針となることと信ずる。

ORは戦争という契機があつたからこそ、かくも急速な発達をとげたのであるといわれている。理由は、戦争がなければ、それぞれ専門の仕事をもつている多数の科学者をこの方面に動員することはできなかつたというのである。これに貢献した科学者、技術者はあらゆる分野の人々、数学、物理化学、生物、心理、医学、工学、経済学、社会学などをそれぞれ専門とする人々であつた。ORの急速な戦時中における発達は、これら多数の人々の協同によつてなされたものである。したがつて、この間の仕事に特に顕著な個人の名前は全然記されてはいな

いのである。大半の人々が平和の到来とともに、黙つて本来の仕事に帰つていつたのであろう。戦時中、これらの人々を有効にORという新しい分野に結集したのは、かかる価値ある人的資源の運用という点でのORもまたよかつたのであろう。

戦後、英米にあつては産業はいち早くORに注目し、鉱業、製造業、運輸などにおいてはORの援用によつて着実に利益をおさめてきている。これらの国では数年前よりOR学会も設立され、また民間企業、政府機関(標準局など)、大学研究所はOR従事者の教育にのり出している。またアジアにおいては、インドがすぐれた科学者を中心とするグループを政府の国土開発計画に参与せしめてOR的な研究をおこなつて効果をあげている。

わが国においても数年前より民間企業や電々公社、国鉄などにおいてORがぼつぼつ実施されてきており、昨年夏(1957年6月)にはOR学会も結成された。資源に乏しいわが国においては、民間諸企業だけでなく、国土の開発、新しいエネルギー源の開発、交通道路網の計画など国家的な計画に新しい運用の科学、ORを応用してその実をあげることが期待される。

## 1.2 軍事におけるOR

第二次大戦中の英国および米国によるORの輝かしい——日本人にとつては逆に悲惨な結果をもたらした——成功談は種々の刊行物に見られるのであるが\*

ここではその一例について少し詳しく論ずることによつて軍事におけるOR、ひいては一般のORの性格を明らかにしたいと思う。

第二次大戦における枢軸軍対連合軍の戦いは、彼が新しい戦術や武器を採用するや、直ちに我はそれに対応して新しい戦術、武器をとつて対抗する。それを知るや彼は直ちにまた新しい戦術を採用するといつたシーソーゲームに終始した。勝利はいち早く対応手段を完成し、また敵が新たな戦術や武器を実用する前に更に高度の戦術を考案し、高度の武器を戦線に送りこむ側に輝く。高名なキング提督が称さんしたように、ORはいくつかのかかる決定的な段階において真に重要な貢献をしたのである。たとえば、その代表的な例、独Uボートと連合軍哨

\* Morse, P.M., Kimball, G.E.: *Methods of Operations Research*, John Wiley, 1950. 日本科学技術連盟: *オペレーションズ・リサーチの方法*, JUSE出版, 1955. McClosky, J.F., Trefethen, F.N.: *Operations Research for Management*, Johns Hopkins Press, 1954. 目崎, 横山, 大沢訳: *経営のためのオペレーション・リサーチ*, 同文館, 1956.

宮脇, 三根, 藤沢: *オペレーションズ・リサーチ*, 共立出版, 1957.

**生産と技術**

戒航空機のレーダーをめぐる角逐については、前脚柱に引用した本をみられたい。しかし、ここでは割合に単純な潜水艦による輸送船攻撃のばあいのORの一つについて紹介しよう。

欧州における独Uボート、太平洋における日米両潜水艦による輸送船の攻撃は空からの攻撃と並んで戦局を左右するほどの重要問題であつたことは周知の事実である。ここで紹介しようとする問題のおこりは欧州海域におけるUボートの狼群作戦である。当時Uボートは10隻以上一群となり、そのうちの一隻が輸送船を発見するや、仲間に通報し、よつてたかつて沈めてしまうという、いわゆる狼群作戦をとつて連合軍に怖れられていた。米海軍はこれを太平洋海域における作戦に適用するために群の大きさの決定に迫られた。

如上の目的のために、ORにより発展した搜索の理論(Search Theory)が応用された。搜索の理論とは、発見すべき対象がある範囲のどこかに位置するとき、搜索者がこの範囲をパトロールして対象を発見する問題に関する理論である。いまのばあいに必要な程度のことをのべておく。

範囲の大きさをAとし、被搜索者がいづくに位置するかは全くランダムであると仮定する。搜索者の位置も同様であると仮定する。搜索者が $\alpha$ という大きさのはんいをパトロールしたときに対象が発見されない確率を $P(\alpha)$ で表わすことにする。さらに $\Delta\alpha$ だけパトロールしたとき、この間に対象が発見される確率は $\Delta\alpha/A$ である。したがつて次式がなりたつ。

$$P(\alpha + \Delta\alpha) = P(\alpha) \left(1 - \frac{\Delta\alpha}{A}\right) \dots\dots (2.2)$$

この式は、パトロールされた範囲が $\alpha + \Delta\alpha$ になつても対象が発見されない確率は $\alpha$ までに発見されず、かつ $\Delta\alpha$ の間にも発見されない確率に等しいことを表わすだけである。

(1.1)において  $\Delta\alpha \rightarrow 0$  ならしめれば

$$\frac{dP(\alpha)}{d\alpha} = -\frac{1}{A} P(\alpha) \dots\dots (1.2)$$

$P(0) = 1$  なることから、(2.2)をとけば

$$P(\alpha) = e^{-\frac{\alpha}{A}} \dots\dots (1.3)$$

したがつて発見できる確率は

$$1 - e^{-\frac{\alpha}{A}} \dots\dots (1.4)$$

である。

いま搜索者として潜水艦を、発見すべき対象として輸送船をとる。航路の巾をWとし、一潜水艦の有効視界半径をVとする。すなわち、AとしてはWを、 $\alpha$ としては2Vをとるのである。N隻の潜水艦がパトロールすると

ときには、 $\alpha$ として2NVをとらねばならない。そこで毎日F隻の輸送船が航行するとすれば、N隻の潜水艦が哨戒についているならば発見される輸送船の平均数は一月当り

$$S = F \left(1 - e^{-\frac{2NV}{W}}\right) \dots\dots (1.5)$$

潜水艦が輸送船を発見したとき、これを撃沈できる確率をPとすれば、上述の論議における「発見」を「発見して撃沈する」ということばでおきかえてみるならば、一月に撃沈される輸送船の平均数は、(2.5)において2NVを2NPVとかえて

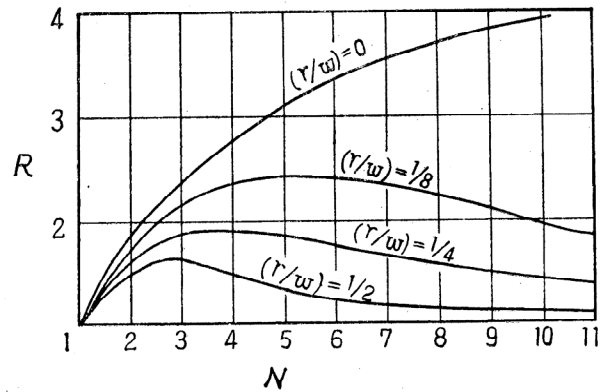
$$H_i = F \left(1 - e^{-\frac{2NPV}{W}}\right) \dots\dots (2.6)$$

ただし、これはN隻の潜水艦が独立にパトロールするときである。もしN隻が1群となつて、一隻が輸送船を発見したとき他の(N-1)隻がかけつけてくれば、1発見ごとの撃沈の確率は(2.5)のようにPではなく $1 - (1 - P)^N > P$ である。したがつて群作戦をするとの一月当りの平均撃沈数は

$$H_g = F \left[1 - e^{-\frac{2NV}{W} \{1 - (1 - P)^N\}}\right] \dots (1.7)$$

群作戦の相対効率Rは、(1.6)、(1.7)から

$$R = \frac{H_g}{H_i} = \frac{1 - e^{-\frac{2NV}{W} \{1 - (1 - P)^N\}}}{1 - e^{-\frac{2NV}{W} P}} \dots (1.8)$$



第1.1図 群作戦の相対効率 (P=0.25)

第1.1 図はP=0.25 のばあいのRの値を示す。この図から、航路巾が狭いときには、Nの比較的小さい値で相対効率が飽和して、ある最適の大きさがあることを知る。他方航路巾がうんと広ければ群作戦による利益は、群の大きさがますます増大することがわかる。

実際には狼がみんな一ヶ所に集まれるわけではない。独Uボートのばあい、狼の半数が同時に攻撃に参加できることは稀であつた。太平洋で米国潜水艦は2隻以上かけつけてくることも稀であつた。これらの事情のために、相対効率は第1.1 図の示すほどは大きくない。しか

し、商船に護衛がつくときには、群行動による利益は非常なものである。というのは護衛艦船に対する集中攻撃には大きい効果があるからである。

独狼群はしばしば12隻あるいはそれ以上からなつていたが、米海軍は太平洋海域における日本輸送船に対するデータから3隻が潜水艦群の最適の大きさであると結論した。これにしたがつて群作戦のための戦術が考案され、試みられた。この結果は群作戦によると一隻当たり50%の戦果増になつた。そこで、この作戦が実用され所期の効果をあげることができたのである。

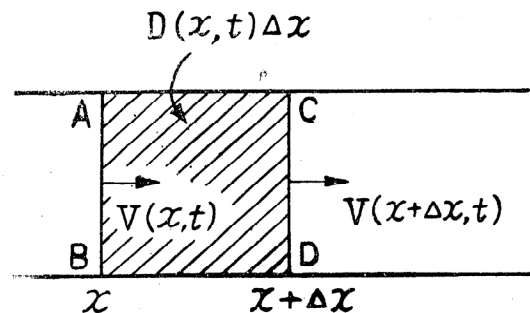
戦時中の成果にもとずいて、戦後英米はORに非常な力を入れている。英米が中心となつたNATO諸国では、ORが軍隊に正式にとり入れられており、研究のための演習もおこなわれているようである。日本では防衛庁は正式にORを採用しており、新兵器はORの検討をへなければ採用されないといつた状況である。米国では新兵器の開発、評価というような工学に近い問題をあつかうばあいには System Analysis とよんでいる。米空軍では戦時における産業の動員計画などまで研究しているようである。軍事問題にORの占める比重は現在でさえもかなり大きいのであるが、将来はますますその重要性が増大することと思われる。

### 1.3 産業におけるOR

今世紀に入つてからの産業の拡大は企業における計画・統制に機能の分化——製造、技術、研究、販売、財務等——をもたらした。産業革命を惹起し、それを驚くべき速度で達成して尚不断の発展をとげつつある科学と工学が、新しく生じた企業の諸問題に応用されるようになったのは極めて自然なことである。生産工学(Production Engineering)は人間—機械系(Man-Machine System)の能率の問題に専念した。市場調査(Market Research)は販売や配給の問題に心理学、社会心理学、社会学、経済学の注目を集めて発展した。このようにして科学は企業の各機能に応用された。しかし組織全体の目的達成のために諸機能を一に統合するものは何か。このマネジメントの主要任務を経験にもとづく健全な判断と鋭い感覚だけに委ねておいてよいのか。このような状況からして科学者が全般的な運用の問題に関与するのは当然のことである。戦争が終つて、ORの成果は次第に公けにされていつた。兵の運用にそれほど有効であつた方法が産業に役立たない筈があらうか。しかも、現在第二次産業革命とも称されるほどの技術革新の時代に当つて、運用の成否は直ちに企業の死命を制するであらう。産業がORに希望の灯を見出そうとしたのも無理からぬことと領ける。

かくて公私の企業のいくつかはORを試みて、あるいは成功し、あるいは失敗した。成功は華かに——ある面では誇大に——語り伝えられ、更に多くの企業がORをとり入れるのを助成した。

産業においてORはどのような仕方で行なわれたか。それは戦時中と同じチーム・アプローチ (Team Approach) によつてである。戦時中、専門分野の異なる多くの人々のチームによる研究が非常に効果的であつたからである。一人の科学者が「新しい」問題に当面すれば、彼はまず問題の本質を見出し、これとはちがう問題で同じ構造をもつ問題に、曾て自分の専門分野でぶつかつたことはなかつたかと考える。ぶつかつたことがあると彼は当時用いた方法が新しい問題に適用できないかと考えをめぐらすであらう。たとば、ある自動車道路に沿つて多数の車が疾走するばあいの輻輳の問題が与えられたとしよう。目的は交通制禦機構の運用に資するためである。一人の物理学者がチームのなかにいたが、彼はどんな解析の方法をうみ出したか。道路起点から  $x$  の距離の地点時刻における車輛密度を  $D(x, t)$  (1 km 当り)、この地点における車の速度を  $V(x, t)$  km/h で表わす。彼は車の流れを圧縮可能な流体の流れと考えた。すると(第1, 2図参照)、時刻  $t$  には  $A B C D$  内の流体の量(車



第1.2図 車の流れ

輛数)は  $D(x, t) \Delta x$  である。  $A B$  における速度は  $V(x, t)$ 、密度は  $D(x, t)$  で、  $C D$  におけるそれらは  $V(x+\Delta x, t)$ 、  $D(x+\Delta x, t)$  である。それ故、  $\Delta t$  の間に  $A B$  からは  $D(x, t) V(x, t) \Delta t$  の流体が  $A B C D$  内に流入し、 ( $D$  からは  $D(x+\Delta x, t) V(x+\Delta x, t) \Delta t$  の流体が  $A B C D$  内から流出する。時刻  $t+\Delta t$  における  $A B C D$  内の流体量は  $D(x, t+\Delta t) \Delta x$  であるから、

$$D(x, t+\Delta t) \Delta x - D(x, t) \Delta x = D(x, t) V(x, t) \Delta t - D(x+\Delta x, t) V(x+\Delta x, t) \Delta t$$

ここで  $\Delta x \rightarrow 0, \Delta t \rightarrow 0$  とすれば

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial (DV)}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(1.9)$$

これは流体力学では周知の式である。実際のデータから

## 生産と技術

VとDの間の関係が知れば、彼は豊富な解析、計算の方法をもっている。

チームの多数の人々のかような提案から、その問題をとくための最も進歩した科学的方法がえられるであろう。ORの対象はいままで殆んど科学の対象となつたことがないので、各分野の専門家には幼稚とも思える方法でも大きい効果をあげることができたのである。そのうち、ある種の問題は、ORの分野で再三現われることがわかつた。かような問題は一本にして、深く研究するようになるのは自然の成行である。その結果、このような再三現われる問題をとくために、新しい方法や、古い方法を改良したものが発展してきた。こうしてOR特有の問題をとくための方法、手段が徐々にできあがりつつあ

る。

以前は創造的な精神をもち、科学または工学に通じた、ORに関心をもっている人は誰でもORの研究者となることができた。しかし最近では、それほど簡単にはいなくなつてきた。他のいい方をすれば、つまり、ORが一個の応用科学として成長し、自己の存在を主張しはじめてきたのである。本稿は、このように成長し、そして成長しようとしている新しい運用の科学、ORに学界、産業界の多数の方々の注意を惹き、それによつてOR発展のための気運を醸成し、ひいては日本の科学技術の向上の一端とも成したいという希望から、書かれたものである。(次号に続く)

(45頁より続く)

される種々の変化について簡単な分析検討を試みたのであるが、結論として次のことがいい得る。

(1) アークエヤー法は適正条件のもとで正常な施工法を採れば、母材鋼板に炭素、銅及び不純金属成分が問題になる程増加する事はない。

(2) 鋼板施工部の熱による組織の変化の程度は、ガスフレーム法に比して非常に小さく、これはまた熱的歪の小さいことを予想させる。

(3) 不良施工条件では特に溝底部に硬度の極めて高い薄層が現われるが、施工条件を考慮し熔融金属を残さない適切な作業を行えば、アークエヤー法による施工部は他のガスフレーム法またはチップング法に比べて極端に高い硬度を示さない。

## 6. あとがき

アークエヤー法は優れた施工法として近時各産業部門において非常に注目されつつあるが、実用データに乏しく不明の点が多い現状である。この概説がアークエヤー法、特にガウジングの面で優秀な作業性と経済性と共に金属加工の上に多少とも寄与する所があれば筆者の喜びとするところである。

## 学内ニュース

### 阪大の超高温実験

阪大工学部熔接工学教室「超高温研究グループ」=会長伏見康治教授、主任岡田実教授=が主催となつて行われた衝撃放電の発生実験は去る2月27日工学部枚方学舎超高温実験室で公開された。この日は研究会員の外京

大、市大或は製作に協力した島津製作所、日新電機、天辻鋼球等メーカー関係の人たち約100人が招待され実験を熱心に見守つた。先づ岡田教授と荒田助教授から核配合実験の各国の状況や同学の実験設備の説明があり同装置はソ連が1952年以来操作を続けている円筒型放電管による方式になつたもので約15坪の実験台に設置された直径約4mの円型に蓄電池100個が並べられたOFA・No.1号(阪大核融合実験装置1号)と呼ばれるものでガラス製放電管の中に重水素のガスが入れられている。建造費は約1,000万円である午後2時20分実験開始のスイッチが入れられると4万Vと7万Vの電圧が放電管に流れ大ごう音を発して一瞬(約100万分の1秒)強烈な光線を放ちピンチ現象を見せた。当日は中性子検出装置が故障で中性子や温度測定の詳細なデータは得られなかつたが融合反応の実験が阪大グループによつて口火が切られた重要な意義を示した訳である。

### 文学部長に藤教授

阪大文学部ではこのほど小島吉雄部長の任期満了に伴う後任に国史学の藤直幹教授を選んだ。就任は4月1日。藤教授は徳島県出身、昭和3年京大文学部卒、同23年から阪大教授。54才。

### 社会経済研究室に口財団寄金

ロックフェラー財団は阪大経済学部に、社会経済研究室=室長一谷藤一郎経済学部長=の景気予測、市場調査などの業績を認め、明年度から3年間4万ドル(1,440万円)を援助すると通知があつた。

大阪財界の間でも同研究室を支援しようと太田垣士郎氏(関西電力社長)を会長に「阪大経済研究協会」が基金1,000万円でのこのほど発足、同室の研究を永続的に推進することになつた。