ORにおける統計の応用

——J. Walsh 博士講演会記録——

防衛庁の招きで来日されたDr. J. Walshを迎え1966年8月1日午後3時より5時まで虎の門共済会館で下記の講演会を開催した。引続き5時より夕食会を共にした.

（通訳：海辺不二雄氏）

本日皆さまにお話いたします題目は，「ORにおける統計の応用」という点は私にとって特に興味深いものでありますが，その理由は，私は統計学者であると同時にOR屋，両方であるからです。本日のお話は，一般的な題目についての討論形式をとりまして，あまり特定の具体的な結果ということについては触れないつもりでございます.

まず最初に取り上げる問題を申し上げますと，統計学がどういう場合にORの一部を代表するという形をとるかということでございます。と言いますのは，統計学自身それ独自で一つの分野を形作っているわけでありまして，従って統計学のすべてが必ずしもORであると言いきれないからであります。一つの難かしい点が生じますが，それは世界的に，みんなに受け入れられるような，ORについての定義がはっきり定義付けられてないという点が一つ，この問題を困難にいたします．非常に精密な厳密な，ORというものの定義は，実は非常に難かしいわけです。しかしながらORというものの厳密な，細かい定義がなければ，実際どういう場合に統計学がORの一部になるかということは，はっきりと識別することは困難になってくるわけです。

ORの解釈

まずそれでは私自身が，個人的にORとはこういうものだと解釈しているその内容を，皆さまに申し上げてみることにいたします。まず第一番目に，ORというものは，正式な高度な教育をもった人たちを使いまして，実際的な問題を解くということから成り立っているというふうに思います。

で，定義に関連して第二番目に，いま言いました実際的な問題でありますが，その問題は通常の場合システム全体と関係しているというわけです。しかしこの解釈では，あまりそう厳密ではありません。たとえば以上の定義ではシステム分析とORとの区別が必ずしもはっきりしないわけです。私の意見では大部分のシステム分析は，実はORでもあるというふうに解釈できる場合が非常に多いと思います。実はアメリカにおきましては，このシステム分析という言葉自体が，もとはと言いますと，オペレーションズ・リサーチあるいはオペレーションズ・アナリシスと，同義語というふうに考えていたときもあったくらいです．しかしながら私自身はORとシステム分析とは少し違う，特にその扱う問題が長期的な性格をもっている場合，たとえば将来10年間にまたがるような場合には，その二者は少し変ってくると私は思います．以上このORについてちょっと論議いたしましたが，これは一般論的な話で，統計学とはあまり関係なくお話したわけです．これからは少し統計学というものに中心を移してお話を進めたいと思います。

歴史的，伝統的にずっと今までのいきがかりをみてみますと，統計学のある部分，これはやはりいろいろとORの一部というふうに見られて，影響をもっていたという点がいくつか見られます。一つの例として，ORというものに対していくつかの国々がとっている見方というものを調べてみると，少し明らかになって参ります。

英国のORの見方

たとえばイギリスでありますが，統計学の応用というものが，実はずばりORであるというふうに見られている例が非常に多いわけであります．オスローで開かれました国際OR学会の会合，1963年に開かれたわけですが，私も出席いたしました．そこでのイギリスからの発表論文は，ほとんど全部私からすれば，統計学の応用というふうに見られるものでありました．アメリカでこれらの論文を発表するとすれば，むしろOR学会の席上ではなしにアメリカ統計学会のほうにもっとふさわしい論文というふうに多分見られたと思います.

今度はアメリカの場合を見ますと，待ち合せ理論は，これは伝統的にORの一部というふうにもみなされてきております．その理由を考えてみますと，

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

初期のORのアメリカにおける活動，特に重要なOR屋さんの関心が，やはりこの方面に向いていたということが，大きな原因ではないかと思います．たとえば皆さまよくご承知のモース博士，アメリカのOR学会の最初の会長でもあり，しかも創立者のうちの中でも，一番強力な人物と見られる，このモース先生が，非常に待ち合せ理論に深い興味をもっておられたということも，大きな影響かと思います．私の聞いたところでは，日本では品質管理がORと非常に強く結び付いているということを聞いております．

ORと統計

実はこの次の国際OR学会で，パネルディスカッションがございますが，その題目が各国で，一体ORというものの内容構成がどうなっているかという項目がございますが，私自身そのパネルの一員になる予定でございます．しかし私自身，統計学というものはそれ自身ORとは別な一つの独立な分野であるというふうに言いました．すべての統計学がORというものになるとは限らない．しかし，もしもORの応用というものが存在するとするならば，やはりいかなる統計学的な手法も，すべてORと関係しているというふうに考えられると思います．私自身の見解として，統計学というものをORという大きな題目の中に含めるということに多少好意的な偏見をもっているかもしれません．しかし必ずしも，みな私の意見に賛成ではございませんで，アメリカOR学会の相当な影響力をもっている幹部クラスの中にも，私と必ずしも同意見ではない方がございます．たとえば昨年から今年にかけてのアメリカOR学会の会長のショートリー博士，実は物理学者出身でございますが，統計学というものをORの関連分野とさえも，実は認め難いというふうに言っておられます．しかしながら統計学とORとの関連性というものが一番強く認められる点は，例のORの国際的なアブストラクトがありますが，あれを見るとなにか関連性というものが認められるのではないかと私は思います．このアブストラクトをみますと，これが取り上げております学会誌の非常に多くのものが，統計学と関係をもっているということがおわかりになります．たとえば私自身の分担責任は，バイオメトリックスの雑誌をレビューすることです．このバイオメトリックス誌の役目というのは，実は生物学及び医学方面への統計的な方法ということを扱うことを主眼としております．で，この雑誌の一冊当り平均3ないし4つの記事が，私の考えではORに非常に役立つ，そういった手法を含んでおります．

もう一つの例をあげますと，アメリカOR学会で毎年出されますランチェスター賞がございます。このランチェスター賞の候補を探すために検討されます対象となる学会誌といたしまて，大部分の重要な統計関係の雑誌が対象になるということからも，その関係の深さがわかると思います。また大部分の国々におきまして，ORというものの中に含まれるちゃんとりっぱに確立された一つの分野といたしまして，信頼性の分野があげられます。またさらにLPとノンリニア・プログラミングの二つの分野，これは非常にりっぱに確立された分野でありますが，それらはもう現在では不確定性という分野の中に含まれると考えられております。

もう一つの分野，あとでもう少しくわしく取り上げるつもりでありますが，実はシミュレーションの応用の分野でありまして，これも不確定性を含むような，たとえばモンテカルロ法によるシミュレーション，これがまたもう一つの関連分野としてあげられます。

ORと統計学の会合

特にORにおける統計学の応用というものが強調される，その会合の一つといたしまして，1967年，7月から8月にかけての国際的なの会合がございます．統計学を強調するという理由として，いくつか考えられます．一つの理由は，私の個人的な信念でもあるわけですが，統計学というものは非常に強力な応用力というものをもっているということであります．現在までORにおいてみられた応用の実績よりもはるかに強い可能性をもっていると思うからであります．もう一つの理由は，この日本における会合のあとすぐにオーストラリアで開かれます統計学の会合が続くからであります．これはバイオメトリックスの第6回の国際学会の会合がありまして，そのあと引き続きまして36回目の国際統計学会のセミナーが行なわれるからであります．こちらのほうは非常に伝統のある，よくみなに知れわたった確立された学会でございます．その会合には，世界各国からの多くの出席者が常にありまして，非常に盛会でございます．そこで少し勧誘すれば，その一週間前の日本におけるほうの会合に出席させるということは，比較的容易かとも思います。そこで世界各国の主だった統計学者たちが，日本における会合で，OR的な内容をもつような論文を発表してもらうようにすることができるかもしれません。さらに

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

日本での会合だけではなく，スペインおよびインドでも行なわれます会合にも，このように勧誘することもそう難しくないかもしれません．

今さっきORの国際的な会合と言いましたが，これは順ぐりに，次々各国で開かれる形をとりまして，まず最初スペインで開かれ，引き続きインドで，それからあと日本でという巡回制をとることになっております．実はスタンフォード大学のハーバート・ソロモン教授に，私のほうからお願いいたまして，これらの今言った会合いにおける統計学の応用というような内容の会議を組織するように依頼してございます。ソロモン教授は，この役割に非常に適した人物と私は思います．と言いますのは，統計学者でもあり，しかもOR屋さんでもあるからです．このソロモン教授は，数理統計学会の1965年度の会長でありました．現在ではアメリカOR学会の西部地区の支部長でございます．この西部地区の会員数は千人以上であるという非常に大きな支部であります．まだ受諾の回答を受け取ってはおりませんがしかしぜひこれを引き受けてもらいたいものであります．

一方先ほどのオーストラリアで開かれる国際統計学会の会合におきましても，やはりORにおける統計学の応用という題目でのセッション（部会）を開くようにと，私自身から提案しております．この提案は，私が日本にくる直前に提案したばかりでございますので，まだその結果は聞いておりません．以上でもってORにおける統計学の応用ということについての一般論についてお話し申し上げましたが，今度は私自身のこの方面における興味をもって，研究している内容について，少しばかりふれてみたいと思います．

シミュレーション

その内容，これから申し上げることは，不確定性を含んだシミュレーションでございます．これから申し上げることは，私ともう一人A．V．ゲフェーリアン博士と共同で，作成した論文で，実は今年の夏の終りごろボストンで開かれます国際OR学会の会合で，発表予定のものでございます．

この不確定性を含んだシミュレーションには二種類ございます．その基本的な二種類のうちの一つは実は実際のシステムの運用，オペレーションがある短かい期間実行されるという内容のものです．この種のシミュレーションは特にマン・マシーン・システム，つまり人と機械の組み合せのシステムが調査検討される場合に，特に重要なものであります．で，この種のシミュレーションは，私の所属しておりますシステム・デベロップメント・コーポレーションで，非常に多く関心を示されております．非常に重要でありますので，シミュレーション研究ラボという，特別な研究室をもっているくらいです．その運用の主体となる担当者は，心理学についての経歴をもった人たちが大部分です．

もう一つの基本的な種類のシミュレーションはこれは高速コンピューターの使用ということを前提にしたものであります．この場合には人間の部分についてのいろいろな効果，影響というものは，これは計量化される必要がございます．つまり人間が関与する場合，その部分についてもすべての結果というものが，それが決定論的な場合であるにせよ，あるいは確率的な場合にせよ，いずれも完全に数量化され，また厳密に規定されなければいけないということを意味しております．今ハイスピード・コンピュータと言いましたが，これは大部分デジタル・コンピュータを使っているわけであります．しかしこれから私が申し上げます大部分のことは，同様にアナログ・コンピュータにも適用できます．

ところでシミュレーション・モデルで実際のシステムを代表させる場合に起こる問題といたしまして，一体どれだけよく実際のシステムを表わしているかという問題が，非常に簡単な場合でも，早速問題になります．この代表する度合いの評価というものは，非常に複雑でございまして，それは少なくとも次の二つの点を考慮して，非常に難しいものになってくるわけです．

まず困難さの一つといたしまして，シミュレーションの結果というものはランダムでありまして，ちゃんとこの答えだというふうに，厳密にきまらないという点が一つであります．つまり同じ内容のシミュレーションをもう一回繰り返したとしましても，結果は異なる可能性が大いにあるということを意味しております．これはときによりますと今言ったような，異った結果が出るということは，統計的な変動というふうに言われている場合が非常に多いのです．

もう一つ今の評価の問題を複雑にする点といたしまして，通常関心の対象がある特定の一つのシステムではなくて，むしろいくつかのある種類のシステム全体を対象にして，いろいろ論じようとしているという点が，さらに評価を複雑にいたします．二番

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

目の今申し上げた複雑さというのは，特にコンピュータを使わない，さっき実際の人間を対象にしての心理学者が担当すると言いましたが，そちらのほうの種類のシステム・シミュレーションでは，特に重要でございます．主としてコストの制約からいたしまして，マン・マシーン・システムについて，二，三種類以上はとても細かくシミュレーションで調べようということは，ほとんど実際的には不可能に近いからであります．

多数のパラメータ

二番目の問題は，特にモンテ・カルロ式のコンピュータを使ってのシミュレーションでは，さほど重要な問題にはなりません．しかし大部分の場合に，検討を必要とするシステムの種類の数というものは，非常に多いのが普通でございます．たとえば，何年か前に私自身アメリカの防空のための，モンテ・カルロ・シミュレーションを工夫いたしましたが，それに取り上げられましたパラメータの数というのは，7万にも及んだ膨大なものであります．今言った7万のパラメーターの一つまたはそれ以上どれでも変えることによって，それぞれ別なシステムというものを代表させることができるわけです．今かりにパラメーター一つについては，たった二つの値しか考慮しないという簡単な場合だけを考えても，それではそれによって何種類のシステムができるかというと，7万以上のシステムができてしまいます．しかしこんなにたくさんのシステムを一つ一つ検討しようということは，まず実質的に不可能といってもいいものです．

そこでこの問題と簡単に取組むために，統計学で一般に回帰関数と呼ばれる特別な手法を用いることにいたしました．

モデルの妥当性

次にもう少しシミュレーションの具体的な一面といたしまして，シミュレーション・モデルの妥当性の問題にふれてみたいと思います．その妥当性の問題には，基本的には二種類のものが起って参ります．そのうちの一つはシミュレーションの結果と，実際この世の中で起るある特別な場合を比較してみようというのが一つ．システム・デベロップメント・コーポレーションでの今のことについての一つの例を申し上げますと，高速道路のインターチェンジでの交通の問題を今一つ研究しております．これは一般の乗用車の例の高速道路の場合のお話です．インターチェンジは皆さんご承知のように高速道路に出入りできる場所を言います．この場合の交通の流れのモデルが，さっきちょっと名前をあげましたゲフェーリアン博士と，協力者の方々によって作りあげたわけです．

そこで重要な問題は，この単純化されたモデルが少なくともある程度の近似度でもって，実際によくあてはまるかどうかということであります．これは簡単には結論づけることはできないわけです．そこで一つ計画された方法は，特定のインターチェンジの間の上を，ヘリコプターをとばせまして，確か75ミリの映画だったと思いますが，それをフィルムにおさめるということであります．そこで今度は映画の分析をして得られたと同じ速度及び車線へ入る速度と数，どの車線へ入るかというのと同じことを，モデルのパラメータに与えまして，モデルをその特定の場合にあてはめ，標準化するわけです．もちろんシミュレーションモデルは実際とあらゆる面で細かく一致させることはちょっと無理でございます．

そこで重要な問題といたしまして，モデルの一体どういう部分が実世界と一致する必要があるかということをきめることであります．と同時にシミュレーション・モデルが，よく実際を代表しているということを言いきるために，どの程度よく合う必要があるかというその程度をきめる必要がございます．実はこの問題は自動車の交通においてなにが重要かということの実際的な興味のほかに統計学の問題としても，実は非常に興味深いものを提供したわけです．

次は妥当性検討のもう一つの基本的な種類を申し上げますと，これはシミュレーション・モデルの単純化をするということであります．このシミュレーションというのは，非常に多くの場合次のような場合に使われるわけでありますが，細かい原因，結果ということは非常に容易に見られるけれども，しかしながらそれの一つ一つの記録やなにかが手数がかかって膨大なものになるために全体の姿というものはなかなかとらえにくい．そういった場合にシミュレーションを使って，全体の姿を求めようというようなことに多く使われます．一番最初に作りあげるシミュレーション・モデルは，そういった一つ一つの細かい部分を全部取りあげようとするために，非常に長ったらしく複雑なモデルになってしまうという場合がしばしば見受けられます．しかしながら多くの種類のシステム，それが大規模な場合に，特にこの種類のシミュレーションモデルを使って調べよ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

うということは，時間も金もかかるあまりよくない方法です．

しかしながらこのシミュレーション・モデルを使って，少しばかり回数を繰り返して調べているうちに，モデルの各部分が，全体的なシステムの観点からどういうような働きをしているか，それぞれの各部分の機能と，全体の機能との関連性といったようなものについて，だんだん見当がつくようになって参ります．こういったシステムの運用についての，一つの学習的な経験をもとにいたしまして，もっとシミュレーション・モデルを単純化する。単純なモデルを作りあげるということを可能にいたします．この妥当性の問題というのは，単純化したほうのモデルが，もとの複雑なモデルをどの程度よく代表するか，どの程度の近似性をもっているかということを調べようと，そういう問題になるわけです．両方のモデルとも不確定性を含んでおりますから，従ってやはり統計学と関係をもってくるわけです．しかしながらそのいずれの妥当性を検討する場合にいたしましても，このシステムからのアウトプットの数というものは，非常に膨大なものになりますので，そこでそれとなんとか実際的に取っ組むためには，統計的に扱うことのできる程度の数の，少ない効率の尺度を見い出すということと，しかも一歩システム自身の観点からして，その内容把握に十分な，技術的な意味をもっているという両方の点から検討して，単純化するということにつきるわけです．もちろんシミュレーションというのは，統計的な手法を必要として役に立つ，ORの分野の中のほんの一部にしかすぎないわけです．実は今私の前に，29回目のアメリカOR学会の全国大会のプログラムがございますけれども，私そのときのチェアマンをしておりましたから，当然その内容をよく知っているわけですが，そのうちの一つのセッション（部会）が，統計的な応用を扱ったセッションでございましたし，またそれ以外のセッションでも，実は統計学の応用および確率論の応用を含んだ，非常に多くの論文が含まれているということがわかります．

以上非常に一般論的なお話でございましたけれども，私の話を終りましたので，ご質問がございましたら喜んでお答えしたいと思います．

——以上——

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．