実験計画ゲーム

朝尾 正

1. まえがき

一般にゲームと呼ばれるものの中には，2つ以上のチームが，同一の目標達成のために，互いに相手を打ち負かすための手を連続して出し合って勝負をつけるものと，目標は同じであっても各プレヤイーが独立にそれぞれの手段を講じてそれにチャレンジした時，目標達成に要したある種の資源の消費量の多少を競うものとがある．

ここで述べる実験計画ゲームは，後者に属するもので，実験環境として与えられる複数の要因に関し，プレイヤーに知らされていない水準の組合せにおける最高値が，要因間の関数関係式とともにあらかじめセットされており，プレイヤーがレフリーより1回または多数回の組合せ実験の結果として与えられる情報を手がかりに，各自がそれぞれにたてた作戦によって最適値を与えるであろう要因の水準の組合せを求めてゆくゲームである．

この場合，作戦の優劣の評価は，定量的には最適値への接近度とそれに要した実験回数（費用）で，また定性的には「情報を得て手を選択する」場合の論理構成の確からしさで行なわれることになる．

したがって相手のあるゲームの場合のように，いくら当方の作戦がよくても，相手がそれ以上巧みであればなかなか勝てない，ということはなく，みずからの作戦のよさがそのまま評価に結びつく点での教育効果は高いものと考えている．

2. ゲームの発想

以下に述べる実験計画ゲームの起源は，昭和35年の春に，当時東洋レーヨン株式会社の品質管理課に在籍されていた藤代侑宏氏（現東京理科大）と伊藤忠雄氏，田辺製薬株式会社品質管理課の田坂誠男氏（現神戸商科大学）と私とが，これも当時としてはOR研究資料を作成配布していることでユニークな存在であった関西経営管理協会の島内三郎氏の援助のもとで開発した「KBAA式プロセスゲーム」にある．

このゲームは，藤代氏が統計的方法の社内訓練用に創っていた「QCゲーム」と，私が工程内実験のシミュレーション用に開発していた「実験の実験法」とを組み合わせたもので，最初はあらかじめ作成しておいたレスポンスサーフェイス図と正規乱数表とソロバンを利用したものであった．

現在ではこれらはすべてマイコン内に組み込まれており，よりスピーディにゲームを進行させることができるようになっている．

当時すでに工程改善のための実験計画法の手法は，完備型，不完備型等のフィッシャー流の手法のほかに，田口玄一先生の開発された直交配列表によるもの，Boxらの発表した山登り法をはじめとする最適値探求法等が紹介されていた．

あさお ただし 田辺製薬

これらの実験計画手法の利用環境と解析手段とをすべてマスターしたとしても，それらを綜合して，どの環境のもとではどの手法を用いるのが最もふさわしいかを知るには，数多い実施を通じての体験を積むことが必要であった．

また「交互作用効果」と呼ばれるものの物理的な意味づけとか，構造模型が正しいとしても，それらが，実験誤差をともなって具体的にどういうデータとして把握されるかを知るにも経験によるアプローチが重視されていた．

そこでこれらをゲームシミュレーションを通じて勉強し，「情報を得て手段を選択する」ルールの発見をめざすことを考えた．

最初は，モデルを1人で作り，それを各種の手法で攻略することから始めたが，より客観的に作戦の評価ができるように，モデルを作るレフリーと被教育者であるプレイヤーに分けることにした．

3. You アンド I

ある未知の構造模型 A を，甲という手法を用いて解明して成功したとき，別の構造模型 B もその手法甲で解明に成功するとは限らない．

逆に手法甲が最も不利になるような構造模型 X が存在することも考えられる．

これを実証するために，私（I）が作った模型をあなた（You）に解いてもらった後，その解法手順を知ったうえで，その手順では解きにくいような模型をIが次に提出することを2人が組んで行なうことを検討することにした．

このような検討を続けた結果から得られた知見は，従来実験計画法の各手法として定着している計画法はいずれもそれ単独だけでは必ずしも最適値探求法としては適切ではなく，前回までの実験結果を逐次的に解析しながら，その情報に応じて完備型，BOX型，直交法等を組み合わせる必要があり，時にはギャンブル的な手法が好ましい手法となることもあるということであった．

ゲームに用いる実験モデルは，教育的見地からは6因子以内が好ましく，主効果以外の交互作用効果も2因子交互作用が2つ以上になると，実験回数を重ねてもなかなか最適な因子の水準の組合せに到達することは困難となる．

なお，各因子の水準の範因は0～100と抽象化するほうがプレイヤーが水準の組合せに際して物理的なイメージに迷わされなくてよいようである．

4. ゲームの実施法

ゲームの進行はふつう次のような順序をとる．

(1)ゲームの意義と手順を説明する

(2)問題を与える

(3)初期情報を与える

(4)実験を計画する（プレイヤー）

因子と水準の組合せを図1の形式で提出する．（またはパソコンにキーインする）

(5)実験結果を示す（レフリー）

図1の Y に結果を記入して返却する．（またはパソコンの画面に結果が表示される）

(6)実験をすすめる．――(4)と(5)をくりかえす

(7)最適値に到達したと考えたとき実験を打ち切り，結果を発表する．

グループごとの発表，質疑，討論，講評を行なう．

(8)得られた教訓と知識を講義により裏づけし，また整理する．

(9)新しい問題について(2)～(8)をくりかえす．

現在までに実施した問題を因子数，主効果数および交互作用数でコード化して示すと次のようになる．

(221) 因子 A と B が主効果のほかに2因子交互作用 $A\times B$ をもっている．

(321) 因子は A，B，C の3つであるが，そのうちの1つは効果がなく，残りの2つのあいだに交互作用効果がある．

(331) 主効果 A，B，C と交互作用 $A\times C$ が存在する．

実 験 計 画 書　　　　チーム＿＿＿＿ 第＿＿回

因子＼No.	A	B	C	D	E		Y
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

図 1

(442) 主効果 A, B, C, D のほかに $A\times C$ と $B\times D$ が存在する.

(541) 5つの因子のうち1つはダミーで，交互作用効果は1つだけ存在する.

以上のうち最もむずかしかったのは (442) で，構造模型の作り方によっては，手順を知らないとよほどの実験計画法の熟練者でもなかなか最適値に到達しないものである.

われわれの経験では，最初の3問題は16回以内の試行で，後の2問も3回以内の試行で解くことができるようになった.

5. 実 施 例

最も簡単な (221) をレフリーのもつパソコン1台だけを利用して行なう方法について述べる.

プレイヤーに与える表の問題は次のようになる.

「(1)目標とする品質特性 Y は大きいほど好ましい

(2)制御因子は A と B の2つで，その水準範囲は 0～100で，測定単位は1とする

(3) 1日(度)に10回以内の実験を組むことができる.

(4)10日(度)以内の実験で各チームが最適条件を推定し，目標品質 Y の期待値の大きいチームを勝ちとする.

(5)初期情報は $A=45\pm5$, $B=35\pm5$ の組合せについて次のように与えられている.

1　$A=40$, $B=30$: $Y=$ 75.3

2　$A=40$, $B=40$: $Y=$ 87.8

3　$A=50$, $B=30$: $Y=$ 92.1

4　$A=50$, $B=40$: $Y=$101.7」

これに対してレフリーがパソコンに記憶させている裏のモデルは，最適水準の組合せを α および β としたとき，たとえば，

$$Y=120-\sqrt{(\alpha-A)^2+(\beta-B)^2+K_1(\alpha-A)(\beta-B)}+K_2\cdot N(0,1^2)$$

として与えられる.

先の問題での (5) の Y の値は $\alpha=83$, $\beta=28$, $K_1=1.9$, $K_2=2$ として求めた値である. $N(0,1^2)$ は平均値0，分散1の正規分布をする乱数の値で，パソコン中で必要のつど発生させて利用することになる.

プレイヤーはこの裏のモデルを知らないので，与えられた初期情報より，より高い Y の値を示すと考えられる方向に，A および B の水準を移動させた実験を計画し，図1の形式でレフリーに提出する.

レフリーはパソコンを操作して，毎日(度)の結果を図1の Y に記入して返却する.

以上のくりかえしを，論理的な攻め方をしたチーム（甲）と1方向ずつの最適水準の組合せで最適値を求めようとしたチーム（乙）との比較で示すことにする.

5.1 甲チームの実績

初期情報をもとにして，1次近似の場合の最大傾斜道を推定した山登り法を用いると次の推論が得られる.

2因子 A, B についてデータの構造を，

$$Y_{ij}=\beta_0+\beta_1 a_i+\beta_2 b_j+\varepsilon_{ij}$$

とすると，A の10単位の変化に対して Y の値は

$$\{(92.1+101.7)-(75.3+87.8)\}/2=15.35$$

変化し，Bの10単位の変化に対してYの値は，

$$\{(87.8+101.7)-(75.3+92.1\}/2 =11.05$$

変化しているので，最大傾斜道は$A=45$，$B=35$の地点からそれぞれの値の大きい方向へ 15.35：11.05=10：7.2の比で進めばよいことになる．

この推論にしたがって得られた値が下降するまで3回の実験を逐次的に行って次の情報を得た．

1-1　$A=55$　$B=42.2$　$Y=104.2$

1-2　$A=65$　$B=49.4$　$Y=112.8$

1-3　$A=75$　$B=56.6$　$Y=103.9$

ここで最高値を示した(65，49.4)の近くを探求するため，正方形に次の4点について実験を行なった．

2-1　$A=60$　$B=44.4$　$Y=111.6$

2-2　$A=60$　$B=54.4$　$Y=110.2$

2-3　$A=70$　$B=44.4$　$Y=117.0$

2-4　$A=70$　$B=54.4$　$Y=105.9$

こんどはAは上昇，Bは下降の方向に最適点が存在すると推定されるデータが得られた．

最大傾斜の方向は　6.25：−0.55=10：−0.88と求められたので，第3回目の実験はそれにしたがってAのステップを5にとって実施したが，

3-1　$A=70$　$B=48.5$　$Y=111.4$

3-2　$A=75$　$B=47.6$　$Y=105.5$

のようにいずれの値も(70，44.4)の 117.0 より下回った．

以上の12回の結果を図示すると図2のようになったので，第4日の実験はAを上げ，Bをもう少し下げた方向を探ることにし，次の実験を試みた．

4-1　$A=75$　$B=40$　$Y=118.4$

4-2　$A=80$　$B=35$　$Y=117.0$

4-3　$A=85$　$B=30$　$Y=116.9$

この結果Aは75〜85，Bは35〜45の範囲内に最適値が存在し，その値は略 118.0 と推定した．

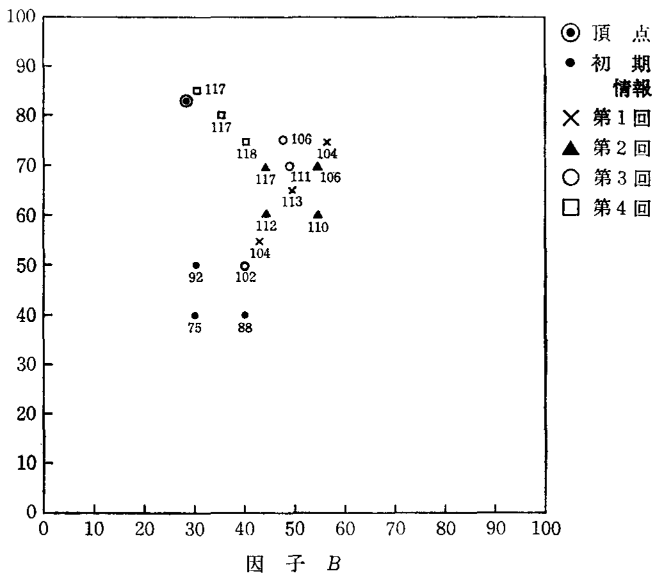

図 2　甲チームの実験経過

5.2　乙チームの実績

乙チームは与えられた情報のうち比較的高い値を示した因子Aの50水準を固定し，Bの水準を上方に変化させることから実験に着手した．

1-1　$A=50$　$B=50$　$Y=105.7$

1-2　$A=50$　$B=60$　$Y=109.1$

1-3　$A=50$　$B=70$　$Y=104.6$

ここで相対的に高い結果を示したBの60水準を固定し，Aを上下に変化させて，どの方向に進むべきかを確かめた．

2-1　$A=40$　$B=60$　$Y=103.2$

2-2　$A=45$　$B=60$　$Y=107.6$

2-3　$A=55$　$B=60$　$Y=109.5$

2-4　$A=60$　$B=60$　$Y=106.7$

ここでAは50と55のあいだに好ましい点があると見られるので，それを確かめて，

3-1　$A=52.5$　$B=60$　$Y=110.0$

を得た．

念のためにAの水準を52.5に固定しBをわずかに上下に変化させてみたが，

4-1　$A=52.5$　$B=62$　$Y=108.9$

4-2　$A=52.5$　$B=58$　$Y=109.7$

特集に当って

村山　乾一

ビジネス・ゲームは1960年頃一時ブームになったが，5年前頃より再び大きなブームが起こり，最近はビジネスの分野だけでなく，その枠を拡げてゲーミング・シミュレーションという名称で，着実にその市民権を確立しつつある．このような発展の原因はインタメスティクの時代ともいわれるほど，世界のあらゆることが複雑に関連し合って，従来の単純な方法が役に立たなくなってきたからで，巨大な仮説の検証や始終状況が変化する場合の対応策を教育訓練したり，多数の異なった目的をもった集団間の合意形成などの場合，特に人間的要素の多い問題にはゲーミング・シミュレーションが役に立つようである．たとえばローマクラブの予測は公害の恐さを知った人間が回避行動をとるところまで組み込めなかったし，オイルショック後の心理的狂乱物価は従来の予測手法ではほとんどつかめなかった．ところがこれに似た問題を処理する多数のゲーミング・シミュレーショが今や続々と開発されつつあるし，また故意に複雑な人間関係をゲーム的に作らせ，その結果によってその法則性を分析するなど，新しいゲームが次々と発表されている．教育に関しては状況に応じて会計的に処理できる能力を養成する戦略会計のゲームともいうべきマネージメント・ゲーム(MG)が受講者20万人を超したといわれている．またゲームによる教育をただ単に戦略的教育という特徴だけでなく，最近の大脳生理学の発展により，論理的な左脳的教育だけでなく，楽しみながら情緒的な右脳的教育を含めるほうが大きな教育的効果のあることがわかってきた．さらに深層部分を働かす繰返し教育のゲーミング・シミュレーションは全脳学習として一層の効果が期待できる．

このような各種の動きは学会活動へ発展し，世界各国に学会が生まれ，世界的にもISAGA(International Simulation and Gaming Association)が結成され，毎年年次大会が開かれるなど，盛んな活動が行なわれるようになってきた．

日本においても7年前日本経営工学会にビジネス・ゲームの研究部会が設けられたが，その後中断し3年前，ゲーム研究会と名を改め再発足した．2年前OR学会で研究部会として認められたが，もっかメンバーも60名を超え，日本全国では数百名の研究者がいるのではないかと思われる．今後はマイコンなどコンピュータの発展によって，ますますこの分野の研究は高まってくるのではないかと思われる．一方，これからも国際化，多様化，複雑化はその速度を増し，解決すべき問題もますます増えてくるので，この特集を機に多方面からの御検討をいただき，さらに新しい発展のきっかけになれば幸いと存じます．

となり，予期どおりの結果が得られた．

以上の結果 $A=52.5$，$B=60$ の点に最適値があり，その値は略110.0と推定された．

5.3 結果の評価

甲，乙両チームともに，実験誤差の存在を考慮せずに，実現値の大小のみを手がかりにして次の実験を計画しているが，構造模型上から予測される値と実現値との食い違いから，実験誤差の大きさを求め，2つの値の大小に有意な差があるか否かを判断すべきである．

甲チームに比べ，乙チームは交互作用の存在を無視したために，山の尾根の中の1点を最適値と見誤ったために真の頂点には到達していない．

実験回数は少し多くなるが，この種のモデルに対しては甲チームの攻め方が正しいといえる．

6. おわりに

各種のモデルについて，気の合った2人が組になってゲームを行ない，結果を批判し合うことによって，最適値探求の手法をマスターする参考にしていただければ幸いである．

×

×

×