

ファイザーで働いていて気づいたのは、独りでもできるような科学研究は実に少ないということだった。たいていは誰かと意見を交わすことが必要となる。なぜなら独りではミスを犯しやすいからである。問題解決の手段として、ある数学公式を立てても、ときにそのモデルがふさわしくなかったり、さもなければその状況に合わない仮定を置いているかもしれないなかったり、私の見つけた「解答」が方程式の誤りに気づかずに得られたものかもしれないなかったり、計算間違いをしでかしているかもしれないからだ。

物理学におけるこれまでにないより精緻な測定機器の発展によって、またこの測定の科学を生物学や社会学へ広げようとする試みによって、自然が本来持っているランダム性がいっそう明らかになった。このランダム性をどのように扱えばよいだろうか。

一つの方法は、精緻な数学公式はそのままにしておき、観測値と予測値のあいだの乗離を小さく重要でない誤差 (error) と見なすことだった。実際、早くも一八二〇年にラプラスは自らの数学論文で最初の確率分布を著した。それは、これらの小さく重要でない誤差が起きる確率を数学的に定式化した誤差分布であった。この誤差分布は「ベル型曲線」ないし正規分布と呼ばれ、一般用語の仲間入りをした。

ピアソンは、誤差は測定によるものというより、むしろ観測値そのものが確率分布を持っていることに気づいた。われわれの測定するものが何であろうと、実際にはそれはランダムな散らばりの一部分であり、その確率は分布関数という数学上の関数で表現される。ピアソンは分布関数の族を発見し、自ら「歪んだ分布 (skew distributions)」と名づけた。彼の主張によれば、それは科学者がデータ上から見出すだろうと思われるあらゆるタイプの散らばりを表現できた。この族の各分布は四つの数値で識別される。

分布関数を識別する数倍は、観測値と同じタイプの「数値」ではない。これらの数値は決して観測できないが、観測値の散らばり方から推測できる。これらの数倍は「観測値に匹敵するもの」を意味するギリシャ語から**母数(パラメータ)**と呼ばれるようになった。ピアソンの分布族を完全に表現できる母数は次の四つである。

- 1 平均 — 観測値の散らばりの中心値
- 2 標準偏差 — 大多数の観測値の散らばりがどれほど平均から離れているか
- 3 対称性 — 平均を中心として片側だけに観測値が偏っている程度
- 4 尖度 — 平均から離れて稀に観測される値の散らばりがどれほど平均から離れているか

ダーウィンの進化論とは、生物は環境上のストレスに反応して変異するというものである。ダーウィンは、環境変化は新しい環境により適した (生物の) ランダムな変化が生じることに、多少とも利点を与えると主張した。やがて環境が変化するにつれて、また生物がランダムな突然変異を起こすにつれて、新たな環境で生存・生殖に適応する新種が誕生する。この考え方は「適者生存」として知られている。無知な政治学者がこれを社会生活に当てはめ、富をめぐる経済的な争いの勝者は貧困にあえぐ人々よりもよく適応していると主張して、社会に悪影響をもたらした。適者生存は、過激な資本主義を正当化し、**富める者が貧しき者を無視してもかまわないという道徳的な根拠**を与えたのである。

ゴセットは、当時バイオメトリカ誌の編集者の一人であるカール・ピアソンと親密になった。ピアソンはゴセットの優れた数学の才能に目をかけた。一九〇六年にゴセットは、ビール会社でも新しい数学的な発想が役立つと社長を説得し、ゴルトン生物測定研究室のピアソンのもとで研究するために一年間の休暇をとった。この二年前、ゴセットが酵母を扱ったことから得た結果をまとめあげたとき、ピアソンは自分の雑誌にゴセットの論文を掲載したがった。そこで彼らはその論文を発表するにあたってペンネームを使うことにした。このゴセットの最初の発見は、単に「**ステューデント**」と名乗る者によって発表されたのであった。

以後三〇年以上にわたって、「ステューデント」は一連のきわめて重要な論文を書き、そのほとんどすべてがバイオメトリカ誌に掲載された。ギネス家が、「親愛なるゴセット氏」が会社の方針に反して秘密裏に科学論文を書き、発表していたことに気づいたのは後年になってからである。「ステューデント」の数学的な仕事の多くは通常の勤務時間のあと、自宅に戻ってから行わ

れており、会社でゴセットがより責任を伴うような地位へと出世した事実から考えると、ギネス社はゴセットの職務外の活動によって悪影響を受けなかったようだ。

フィッシャーが「共分散分析」と名付けた。  
「自由度という新しい概念」はフィッシャーの発見。

#### 極値分布

極値の分布がわかったところでいったい何の役に立つのだろうか。もし極値の分布と通常値の分布の関係がわかっているならば、毎年の最高水位を記録しつづけ、百年に一度の洪水を起こしかねない水位を予測できる。このようにできるのは、年ごとの最高水位の記録があればティペットの分布の母数を推定するのに十分な情報となるからだ。ゆえに、アメリカ陸軍工兵隊は河川の堤防の高さをどのくらいにするかを計算できるし、アメリカ環境保護庁は工場から排州されるガスの最大量を規制する排出基準を設定できる。おかげで綿産業は、最も弱い繊維の強度の分布の母数に影響を与える燃糸製造のこれらの要因を突き止めることができるようになった。

フィッシャーは望ましい  
統計量についての基準をいくつか提案した。

一貫性・データが多ければ多いほど、計算して求めた統計量の値が母数の真の値に近づく確率が高くなる。

不偏性・異なるデータセットごとにある特定の統計量を計算すると、その計算して求めた値の平均は母数の真の値に近づくはずである。

効率性・統計量の値が母数の真の値とまったく同じでなくても、母数を推定する統計量を求めると、その値の大部分は真の値からそれほど離れてはいないはずである。

これらの説明は多少あいまいである。というのも、数学的に定式化されたものを平易な言葉に言い換えているからだ。実際のところ、フィッシャーの基準は数学を適切に使って評価することができる。

ブリスはある手法を発明し、「プロビット分析」と名づけた。彼の発明には、もともとの考えから相当飛躍する必要があった。どのように分析を進めていったらよいかというヒントは、フィッシャー、「ステューデント」、そしてほかの誰かの研究のなかにさえもまったく見当たらなかった。ブリスのモデルは（薬の）分量とその分量で昆虫が死ぬ「確率（probability）」を関係づけるものだったので、「プロビット（probit）」という言葉を使ったのである。

彼の発明したモデルで最も重要な母数は「五〇%致死量」と呼ばれるもので、通常「LD-50」と表記される。これは五〇%の死亡率を有する殺虫剤の分量である。LD-50の殺虫剤を大量の昆虫に散布すると、五〇%の昆虫が死ぬのだ。ブリスのモデルでは別の結論も導きだされている。それは特定の標本を殺す分量を決めることはできないというものである。

#### ナチスの人種観

によれば、ポーランド人や他のスラブ人は教育など必要なく、アーリア人の主人に仕える奴隷となるべきものだった。ヨーロッパの歴史ある大学で、若く前途有望な学生たちが数多く殺された。ソ連では、主な数学者は応用のあてのない純粋数学に避難先を求めた。科学者にスターリンの冷酷な嫌疑がかかるのは、応用分野においてだったからである。

帰無仮説 null hypothesis  
対立仮説 alternative hypothesis

超 hyper

ウイルコクソンの論文が出るまでは、どんな検定統計量も基本的に分布の母数を推定する必要があると考えられていた。しかし、ウイルコクソンの検定は母数の推定をする必要がなく、データから観測された散らばりと純粋に確率的に期待された散らばりとを比較するものだった。すなわち、ノンパラメトリック検定だったのである。

このようにして、統計革命は分布の母数を使ったピアソンのもとのアイデアを超えて、一歩先へと進んだのである。今や、母数を利用することなく、測定値の分布を扱えるようになったのだ。

ピアソンによる母数に基づいた統計的分布の発見は、統計革命の第一歩でしかなかった。今や統計学者は特定の母数に煩わされることなく、統計的分布を扱うことができるようになった。

マハラノビス(Mahalanobis)カルカッタにある大学の物理学部長だった。

便宜標本(Opportunity sample)入手しやすいデータで、本当の分布を正しく代表していない。

有能な女学生へのアドバイス

「秘書コースを受けるな

んて決して勧めないわ！ タイプライターを学んで使えることを見せれば、タイプライターを使う仕事以外何もさせてもらえなくなるわ……あなたは専門職を探すべきよ」と一喝した。

投入産出分析の数学的理論では、経済を記述した行列は唯一の逆行列を持つことが求められる。つまり、いったんデータが集められると、その行列は「逆行列をとる (inverting the Matrix)」という数学的操作を満たさなくてはならないのだ。

当時はまだコンピュータが普及していなかったので、逆行列を求めるのは計算機を使って難しく退屈な作業をするしかなかった。私が大学院生だったころ、学生はみんな逆行列を計算しなければならなかった。それは「私たちの魂のための」一種の通過儀礼であるに違いないと思っていた。私は  $5 \times 5$  行列の逆行列を求めるのに数日かかったことを覚えているが、その大半は計算間違いを探すこととその間違いのやり直しとに費やしたのだった。

レオンチェフの初期設定のセクターは  $12 \times 12$  行列となって、コーンフィールドはそれに唯一の解があるかどうかを調べるために、 $12 \times 12$  行列の逆行列を求めることになった。この作業には一週間もかかり、最終結論はセクター数を拡張せざるを得ないというものだった。不安になりながら、コーンフィールドとレオンチェフはセクターを細分割していき、実行可能だと考えられるなかで最も簡単な行列、 $24 \times 24$  行列にたどり着いた。2人ともこれが一人の人間の扱える能力をはるかに超えているとわかっていた。コーンフィールドは、 $24 \times 24$  行列の逆行列を求めるのに一週間に七日働いたとしても数百年かかるだろうと推定した。

記号論理学

用量反応関係(dose response)

例) たばこを吸う量の多い人ほど肺がんにかかる確率が高い。

私の発表が終わると、聴衆 (大学院生や学部の教員など) の数人から質問されたり、私の研究による副次的影響などを示唆されたりした。ほかに質問やコメントがないことがはっきりすると、テューキーは最後列の席から降りてきて、チョークを手にとり、黒板に私の主定理を書き出し、記法を完璧なものにした。それから、私自身証明するのに数ヶ月かけた定理に異なる証明をつけたのである。「すごい、これがトップレベルか！」と内心想った。

集計図 tally figure



## デミングのセミナー

セミナー参加者たちは、作業員、検査員、マネジャーの二つの役に割り振られた。作業員役には簡単な作業をさせた。目の前には白いビーズがドラム缶いっぱいに入っており、なかにはわずかに赤いビーズが混じっていた。作業ではドラム缶を勢いよく何度も回して中身をよく混ぜ合わせるように教え、よく混ぜ合わせることが大切であると強調された。

次に五〇個の小さなくぼみのあるパドル（櫂）を渡された。くぼみはビーズ一個ずつが入るほどの大きさであった。ドラム缶のなかにパドルを通すと、作業員は正確に五〇個のビーズをすくい出せるようになっていた。参加者たちには、顧客のクレームを防ぐために五〇個中赤いビーズが三個以上含まれてはならないと営業部門から決められており、またその目標に向かって努力しなければならないことが知らされた。

作業員がビーズでいっぱいのパドルを持って現れると、検査員は赤いビーズの数をかぞえて記録した。マネジャーは記録を調べて、赤いビーズの数が少ないか、多くても許容量の三に近い作業員を誉め、赤いビーズの数が多作業員を叱った。その証拠にマネジャーは、しばしば無器用な作業員の手を止めさせ、器用な作業員のやり方を観察するように言い、課せられた仕事をどのようにして正確にこなせばいいか学ばせようとしていた。

ドラム缶のビーズのうち、五分之一は赤だった。赤いビーズが混じるのが三個以下となる確率は**一%未満**。しかし、赤いビーズが六個以下となる確率は約一〇%だったので、作業員は多くて三個の赤いビーズという届きそうで届かない魔法の目標に、しばしばじらされながら近づいていた。平均的には、**作業員たちは一〇個の赤いビーズを取り出していたが**、これは経営者が満足できるものではなかった。ことによっては一三個から一五個の赤いビーズを取り出す作業員もいたが、これは明らかに、かなり下手な作業の結果であった。

デミングが指摘したかったのは、経営者が一方的に達成不可能な水準を設定し、水準が達成可能かどうか、あるいは水準に合わせて技術を変えるためには何をすべきかなど考えようともしないことがあまりにも多すぎる、ということだった。それどころかアメリカの経営幹部は、水準の維持は品質管理の専門家に任せきりで、工場労働者が抱くであろう不満を無視している、とデミングは苦言を呈した。

第 11 草でネイマンとピアソンによる仮説検定の発展と、それがどのようにして現代統計学の主流となったかを見た。デミングは仮説検定にかなり批判的だった。仮説検定の使用が拡大していくことを冷やかな目で見ていたのである。というのも、彼が主張するように、誤った問題に焦点を当てていたからだ。彼は次のように指摘した。

「実際の問題は A と B、二つの処理の違いが有意かどうかなどではない。(両者に) 差異があるとすると……その差異がどんなにわずかなものであっても……実験をかなりの回数くり返せば有意となる……ことがわかるのだ」

ゆえに、**デミングにとって有意差を発見することは何の意味もない。重要なのは、差異の程度を見出すことである。**デミングはある実験状況で見つかる差異の程度は、別の実験状況では異なっているかもしれないことを指摘した。統計学の標準的な方法は、デミングにとって問題解決の手段としては使えなかったのである。こういった統計手法の限界を知ることは重要である。

## マルチンゲール martingale

ギャンブラーが負けるたびに賭け金を二倍にする倍賭けのことをいう。もし、勝率が半々なら、その期待損出は直前の損失と等しくなる。

哲学は、哲学者と呼ばれる一風変わった人々による深遠な学

問的練習などではない。哲学は日々の文化的**思想や行動の背後に潜んでいる仮定を考察**するのである。われわれが自らの文化から学んだ世界観は、ちょっとした仮定に支配されている。そのことに気づいている人はほとんどいない。哲学研究はこうした仮定を暴き出し、その正当性を検討することにある。

正規分布は、かつて最初に定式化したと信じられていた人物に敬意を表して、ときにはガウス分布と呼ばれる。とはいえ、分布の式を最初に著したのはカール・ブリードリッヒ・ガウスではなく、ガウス以前の数学者アブラハム・ド・モアヴルであった。この前にダニエル・ベルヌイがその式を偶然見つけたと信じるに足

る理由もある。これらはすべて、現代の科学史家ステファン・ステイグラールが名称由来の法則（law of eponymy）と呼んだものの一つの例である。この法則は、数学において発見者にちなんだ名前のもは、いまだに1つもないというものである。

ゴセットはこの比率を示すのに「z」という文字を用いた。数年後に教科書の著者たちは正規分布に従う変数を「z」という文字で表す伝統をつくり上げ、そして「ステューデント」の比を表すのに「t」という文字を使い始めた。