

NO.1

実験計画法の考え方，一元配置実験

監修・執筆／東京情報大学 総合情報学部 環境情報学科 准教授 内田 治
執筆／東海大学 綾野 克俊
品質研究所 所長 廣瀬 淳



コガク

目次

第1分冊 学習のねらい 1

第1週 実験計画法の基礎知識

第1週の学習のポイント 3

- 1.1 従来の実験で犯しやすい誤り 4
- 1.2 実験計画法の原則 6
- 1.3 実験計画法における因子の分類 7
- 1.4 実験の種類と使い方 8
 - 1.4.1 実験の種類 8
 - 1.4.2 実験計画法の使い方 9
- 1.5 統計的方法の基礎 10
 - 1.5.1 データの種類と分布 10
 - 1.5.2 正規分布 11
 - 1.5.3 二項分布 12
 - 1.5.4 ポアソン分布 13
 - 1.5.5 期待値と分散 14
 - 1.5.6 統計量 14
 - 1.5.7 統計量の分布 16
- 1.6 検定と推定 22
 - 1.6.1 検定 22
 - 1.6.2 推定 27

第1週 練習問題 30

第2週 一元配置実験と分散分析

第2週の学習のポイント	31
2.1 一元配置実験と分散分析の考え方	32
2.1.1 一元配置実験とは	32
2.1.2 分散分析－ばらつきの分解	33
2.1.3 分散分析後の推定の考え方	37
2.2 一元配置実験の解析手順（繰返し数が等しいとき）	39
2.3 一元配置実験の解析手順（繰返し数が異なるとき）	43
2.4 母数模型と変量模型	47
第2週 練習問題	51

第3週 一元配置実験と回帰分析

第3週の学習のポイント	53
3.1 単回帰分析の考え方と解析手順	54
3.1.1 単回帰分析の考え方	55
3.1.2 単回帰分析の手順	58
3.2 曲線回帰－直交多項式による解析	61
3.2.1 直交多項式の考え方	62
3.2.2 直交多項式の解析手順	64
3.3 固有技術と回帰分析の結果の解釈	69
第3週 練習問題	70

第4週 Excelによる解析

第4週の学習のポイント	71
4.1 Excelによる一元配置分散分析	72
4.1.1 データの入力	72
4.1.2 平均値の計算	73
4.1.3 誤差と主効果の計算	74
4.1.4 水準数の入力	74
4.1.5 分散分析表の設計	75

4.1.6 分散分析表の作成	76
4.2 Excelによる分散分析後の推定	77
4.2.1 母平均の区間推定	77
4.2.2 母平均の差の区間推定	78
4.3 Excelによるグラフ化	80
4.3.1 原データのグラフ化	80
4.3.2 平均値のグラフ化	81
4.4 Excelによる回帰分析	83
4.4.1 データの入力	83
4.4.2 Excelによる散布図の作成	84
4.4.3 Excelによる回帰分析	85
第4週 練習問題	88
STEP UP	89
参考文献	93
練習問題の解答	94
索引	103

実験計画法の基礎知識

学習のポイント

従来の実験で犯しやすい誤りと、実験計画法の特徴と実験計画法の原則を理解する。実験計画法で用いる用語の定義を正しく理解し、この後テキストで説明される内容が理解できるようにする。

統計的方法の基礎として、正規分布、二項分布、ポアソン分布、平均値の分布、範囲の分布、分散の分布、カイ二乗分布、 t 分布、 F 分布を理解し、正規分布を始め、各種の分布表の使い方を理解する。

仮説検定といわれる、統計的検定の意味と手順を正しく理解する。とりわけ、第1種の誤り、第2種の誤り及び、棄却域と危険率 α 、有意と判断する事の意味を正しく理解する。

定性的判断に対し、定量的判断とも考えられる、推定の考え方、信頼率 $(1-\alpha)$ の意味、信頼区間の中に、 $1-\alpha$ の確率で真の値が含まれるという考え方が重要である。

.....

実験は一般に非常に広い意味をもって使われるが、広辞苑では「人為的に一定の条件を設定して自然現象を起こさせてみること」と定義している。

この定義に沿って、過去様々な現象の追究が実験の名の下に行われてきた。

実験計画法でいう実験は、品質特性を設定し、これに影響を与える多くの原因（要因という）との因果関係を、統計的手法を導入して定量的に解明していくことをいう。

その最大の特徴は、実験的目的に応じて最小のコストで、最大の情報を得ることができるよう、最も適切な実験のやり方を導き出す技術体系であるということであり、品質管理活動の中でも非常に重要な位置を占めている。

1.1

従来の実験で犯しやすい誤り

実験計画法でいう実験とは、望ましい品質特性の値を実現するために、その特性とそれに影響を与える原因との関係を統計的解析を通じて定量的に明らかにすることを目的として行われる実験のことである。

しかしながら、従来の実験ではいろいろな問題のあるやり方を行っていた。従来の実験で犯しやすい誤りとして次のようなものがあげられる。

(1) 目的が不明確な誤り

次の例のように実験の目的が不明確な実験が見受けられる。

例 1. 現場で起こっている問題を解決するのに、固有技術的に考えられる因子をとりあげて、実際には使っていない水準までとりあげて実験を行う。このような実験では水準を広くとった因子が有意になるのは当然であり、固有技術的に考えられる要因はすでに標準化されているため、結果として得られる最適な水準は現行水準であることが多い。本来は、むしろ、標準化している要因の現行水準で問題を引き起こしているほかの要因、水準をとりあげて実験すべきである。

例 2. ばらつきが大きな工程で、過去の実績として達成したことがある特性の水準を確保するのに、設備の改造や材料の変更など設計的な対策をとりあげた実験を行

う。このようなばらつきの問題に対して設計的な対策をとるのは、良い条件に対しても一律に対策してしまうことになるので原理的には高いものになってしまう。原則的には、良いときの条件が明確になるように管理上の要因をとりあげるべきである。

例3. 昨年1年間の不良のパレート図で大半を占める不良をとりあげて実験を行ったが、得られた結果はすべて現行条件が最適であった。時系列のグラフをみると昨年もパレート図で1位を占めており改善活動でとりあげたが、対策が遅れて効果として出なかつただけであった。

いずれも、問題のタイプと実験にとりあげる因子や水準が対応してなく、無駄な実験を行ってしまう誤りである。あとに述べるように現状把握の段階での問題の種類の明確化と実験の因子、水準の選定が必要になってくる。

(2) 実験誤差を考えない誤り

次の例のように実験誤差を考慮しない実験が行われる。

例1. 1回の実験でたまたま得られた条件を最適条件として採用してしまう。

例2. 液体化学品の特性として、常に液面付近からとったサンプルの特性値を比較する。

例3. 測定精度を考慮しないで、1回の測定で特性値を採用する。

これらは、実験誤差を考慮しない誤りである。実験には、実験の繰返し、サンプリング、測定など、実験の各段階で誤差が伴う。これらの誤差を考慮しないと誤った結論を得る可能性がある。種々の段階で発生する誤差を十分考慮した実験を行うべきである。

(3) 交絡因子を考えない誤り

たとえば、温度を因子にとってその水準を20℃、30℃、40℃と順に変化させた実験を行った場合、温度の差以外に、実験の習熟、実験装置や測定機、さらには気温の時間的変化などが影響してくる。そのため温度の効果がこれらの効果と混じり合って分離できなくなる。これを、実験計画法では**交絡**とよび、交絡している因子を**交絡因子**という。この交絡因子を考えない例として次のようなものがある。

例1. ディーラーに対するリベートの効き具合を知るための市場実験として、全国一律に一定期間リベート付きの拡販を行い急激な販売増となったが、政府の内需拡大策と重なってしまい、リベートのせいなのか、需要増のためなのかわからなくなってしまった。

実験計画法では、このような交絡を防ぐために、**対照**（コントラスト）とよばれる比較集団とペアで実験を行ったり、実験順序のランダムマイゼーションを行う。

1.2

実験計画法の原則

実験計画法の基本的考え方として、次のような原則が採用されている。

(1) 無作為化の原則

実験の場に対する処理のわりつけを**ランダム**（無作為）に行うことによって、交絡要因の効果はならされ、データに伴う誤差は確率変数として扱うことができる。このことを無作為化の原則という。このように、ランダム化されている場合にのみ、誤差に対する、

- (a) 正規性
- (b) 不偏性
- (c) 等分散性
- (d) 独立性

という仮説が成り立ち、検定・推定というデータの統計的解析が可能になるのである。この無作為化は、場合によっては二段、三段に分けて行われる。

(2) 局所管理の原則

実験の場を適当な**ブロック**に層別することによって、処理効果の検出力と比較の精度が向上する。これを局所管理の原則または小分けの原則という。

ブロックとは、実験の場全体として、層内では誤差のばらつきは小さいが、層間では誤差の母平均に差があるような層に分けたときの各層のことである。このブロックを構成するのに用いる因子を**ブロック因子**といい、工業実験では、反復、実験日、原材料のロットなどがしばしば使われる。ブロック化とは、ブロック分けしなければ誤差因子になってしまうものの中からブロックの効果として抜き出し、誤差のばらつきを小さくすることを意味する。

(3) 繰返しの原則

同じ処理の実験を同じ実験の場で繰り返すことによって、純粋な誤差のばらつきの大さを評価することができる。また、繰返しのデータの平均をとることによって、水準の母平均や、その差の推定の精度が向上する。これを繰返しの原則という。

1.3

実験計画法における因子の分類

実験において、意図的に変化させるものを因子という。因子の条件を水準という。

実験計画法では、解析上の取扱い、あるいは解析目的の観点から、次のように因子を分類することが多い。

(1) 母数因子と変量因子

実験を繰り返したときに、水準の効果が常に一定で再現性がある因子を母数因子といい、水準の効果が実験のたびに変わり、再現性のない因子を変量因子という。

(2) 計量的因子と計数的因子

温度、圧力、時間などのようにその水準が連続値で表されるものを計量的因子といい、反応装置、機械、作業シフトのようにその水準が連続値では表せないものを計数的因子という。

(3) 解析目的による分類

(a) 制御因子

実験によってその最適条件をみいだすことを目的としてとりあげられる因子で、問題解決の解析の手段としての実験には必ずこの種の因子が少なくとも1つはとりあげられる。水準を指定し、かつ選択できる因子であり、母数因子としての性格をもつ。