

無断使用をお断りします。日科技連出版社

# 品質管理のための 統計的方法の活用

竹土伊知郎 著



日科技連

## はじめに

統計学がブームといわれるほど、企業人はもちろん学生や広く一般の方にも知られるようになって数年になる。最近では、2022年度以降入学の高校生は、数学の一分野として統計学が必修扱いになったという、大学受験生にとっては切実で重要なニュースもあった。

筆者は数学の専門家ではない、もとは鉄鋼技術者・研究者であった。しかし、その業務を遂行する中で「統計的品質管理」に出会い、そのおもしろさ、奥深さ、そして何より実学としての有用性の虜になった。今では、「統計的方法を使った品質管理」を広く多くの方に知っていただけるよう、実践し、教育し、指導することを生業としている。

本書では、品質管理のための統計的方法について、どのような仕組みになっているのか、どのような場面で使うのか、使えるのか、何がわかるのか、得られた結論の扱い方などをていねいに説明する。

実際の場面では、手計算や手書きのグラフなどを使われることはまずないであろう。表計算ソフトや各種統計ソフトを活用していただければよい。しかしながら、インプットされたデータをどのように扱っているのか、得られたアウトプットをどう解釈するのかなどを不十分な理解のまま行われるとすれば、せっかくの統計的方法の恩恵が減じてしまうといわざるを得ない。

理解を深めるために必要に応じて例題を挿入している。例題で設定している場面は、企業人が業務を遂行する場面で直面するであろう状況を設定した。専門家の方からは、こんなことはしないと現実的ではないとかのお叱りをいただくかもしれないが、多くの皆さんに統計的方法のご理解を深めるための工夫として、ご容赦いただきたい。

統計的方法は、何も技術者・研究者のためだけの道具ではない。職場や学校での問題解決を図ろうとするすべての方に有用なものである。営業や管理間接

部門の方々や学生の方にも是非目を通していただければと思う。そういった意味で、多くの初学者のために、統計の初歩から稿を起こす。ある程度の知識がある方は、特に前半は復習の意味でお読みいただければ幸いである。

本書は、以下の7つの章より構成されている。

- 第1章 品質管理の考え方
- 第2章 統計的方法の基礎
- 第3章 検定と推定
- 第4章 実験計画法
- 第5章 管理図
- 第6章 相関分析
- 第7章 回帰分析

統計的方法につきものの特有の用語や記号・式については、JIS(日本産業規格)をはじめ国内の統計的品質管理に関する書籍などで広く使われているものを採用するようにしたが、一部の書籍とは異なる表記になっているものもある。特に重要なものはその都度詳細に意味や成り立ちを説明しているので、記号や式の意味を理解することに努めてほしい。

本書は、一般社団法人日本鉄鋼協会の会報誌『ふえらむ』に、筆者が2023年5月のVol.28, No.5から2024年1月のVol.29, No.1まで8回にわたり連載した「入門講座 品質管理のための統計的方法の活用」に、加筆を行い再構成して書籍化したものである。

書籍化をこころよく後押しいただいた一般社団法人日本鉄鋼協会の小澤純夫専務理事をはじめとする皆様方には衷心より深謝する。

書籍化にあたっては、株式会社日科技連出版社の石田新係長に一方ならぬ支援をいただいた。また、同社の戸羽節文社長、鈴木兄宏取締役にはいつものように温かい励ましを頂戴した。改めてお三方には心より御礼を申し上げる。

2024年3月 鳴きはじめてうぐいすの声をききながら

竹士 伊知郎

## 目 次

はじめに *iii*

<b>第1章 品質管理の考え方</b> .....	1
1.1 品質管理とは .....	2
1.2 QC 的ものの見方・考え方 .....	2
1.3 品質の定義 .....	3
1.4 ねらいの品質とできばえの品質 .....	4
1.5 管理活動 .....	4
<b>第2章 統計的方法の基礎</b> .....	7
2.1 母集団とサンプル .....	8
2.2 確率変数と確率分布 .....	9
2.3 期待値と分散 .....	11
2.4 母集団の分布 .....	15
2.5 基本統計量 .....	19
2.6 統計量の分布 .....	25
<b>第3章 検定と推定</b> .....	31
3.1 検定 .....	32
3.2 推定 .....	40
3.3 計量値の検定と推定 .....	42
3.4 計数値の検定と推定 .....	61
<b>第4章 実験計画法</b> .....	71
4.1 実験計画法 .....	72

4.2	一元配置実験	78
4.3	二元配置実験	83
4.4	直交配列表実験	95
4.5	その他の実験計画法	118
<b>第5章</b>	<b>管理図</b>	<b>121</b>
5.1	管理図とは	122
5.2	管理図の仕組み	123
5.3	管理図の種類	124
5.4	解析用管理図の作り方	125
5.5	管理図の見方	134
5.6	管理図の実際	137
5.7	管理用管理図の作り方	141
5.8	工程の安定と規格との関係	142
<b>第6章</b>	<b>相関分析</b>	<b>143</b>
6.1	相関分析とは	144
6.2	相関分析の仕組み	144
6.3	相関分析の実際	147
<b>第7章</b>	<b>回帰分析</b>	<b>153</b>
7.1	回帰分析とは	154
7.2	単回帰分析の仕組み	155
7.3	単回帰分析の実際	160
付	表	165
引用	・参考文献	171
索	引	173

品質管理を行ううえで重要な目的の一つは、母集団に関する調査であった。では、その調査の結果をどう表すのだろうか？

製造工程における調査なら、「Q 製品製造工程における製品寸法の平均値は10.00mmである」、「R 工場の設備更新後の不適合品率は減少した」などだろうか。

しかし、これらの調査結果は、いずれも対象となる母集団をすべて調べたものではなく、サンプルの調査や測定から得られた情報である。ということは、先に何度も述べたようにサンプルはとるたびに違うものだから、これらの結果は、「たまたま今回そうなっただけでは？」といわれるかもしれない。

誰が見ても問題のない、誰もが納得してくれる結果報告をしたいものである。職場の上司やお客様にも、堂々と報告できる調査結果の導き方、それがすなわち検定・推定の極意といえる。

## 3.1 検定

### 3.1.1 検定とは

---

検定は「母集団の平均は従来とは異なる」、「新たな工程では不純物量が減少した」などといった母集団に関することをサンプルから得られたデータで判断するものである。

以下に手順とその基本的な考え方を示す。

- 1) はじめに主張したい結論を掲げる。もちろんこの段階では、その結論が正しいかわからないので仮説となる。仮説は誤っているかもしれないので、はじめに立てた仮説を否定する仮説も同時に用意しておく。

先の例でいえば、「仮説 A：母集団の平均は従来と異なる」とそれを否定する「仮説 B：母集団の平均は従来と等しい」という2つの仮説になる。

- 2) 仮説を判定するのだから間違うことがある。仮説が2つあるので間違の方も2種類考えられる。すなわち、「本当は仮説 B が正しいのに仮説 A が正しいと判定してしまう間違い」と「本当は仮説 A が正しいのに仮説 B

が正しいと判定してしまう間違い」である。

間違いがしょっちゅう起こっては信用をなくすので、これらの間違いが起こる確率をあらかじめ決めておく。この確率は、通常5%や1%といった小さい値が使われる。

では、結論としていいたいのは仮説 A であったから、「本当は仮説 B が正しいのに仮説 A が正しいと判定してしまう間違い」の確率を5%としておこう。こうしておけば、仮説 A が正しいという判定が出たときに、「その判定が誤っている確率は5%という小さな確率で、めったに起こらない」ということがいえる。逆にいうと、その判定結果は概ね信用してよいというお墨付きが与えられることになる。

- 3) いよいよサンプルをとって、得られたデータの平均値を求める。その前に、このサンプルは仮説 B の母集団(すなわち従来と同じ平均をもつ集団)からとられたものとすれば(仮説 B が正しいとすれば)、第3章で述べたとおり、平均値はどのような分布をするのかを知ることができる。さらにこれを正規分布の標準化をすれば標準正規分布に従うので、これを判定の基準にすればよいのである。正規分布表(付表1)を使えば、この標準正規分布の値とそのときの確率の関係を知ることができるので、めったに起こらない(すなわち小さな確率)正規分布の値がわかる。この値を「めったに起こらないこと」と判定する境界にすればよい。
- 4) サンプルから得られたデータを計算した平均値などを使って標準正規分布の値を計算し、先ほどの境界の値と比べる。

境界を越えたとすれば、それは「めったに起こらないことが起こっている」という状況を示すことになる。

しかし、ここはそうは考えずに、「最初の仮説に理由がありそうだ」と考えるほうがよさそうである。

なぜなら、母集団から正しくサンプルをとり、そのサンプルから平均値を求め、その分布を決めるという一連の流れは、いつ誰がやっても同じようにでき、同じ結果になるはずだからである。

では、「最初の仮説に理由がある」とはどういうことか考えてみよう。今回の場合、仮説 B が正しいということを前提に進めてきたので、「仮説 B を正しいとしたことが間違いだった」とすれば自然である。すなわち、「母集団の平均は従来と等しい」ということが否定されたことになり、もう一つの仮説である仮説 A の「母集団の平均は従来と異なる」が正しかったということになる。

これは最初に掲げた結論と同じであり、思惑どおりの結論を導くことができた。

もちろん、いつもこううまくはいかない。境界から外れない場合もある。この場合は、最初に掲げた結論は正しいとはいえないので、「母集団の平均値は従来と異なるとはいえない」という結論になる。

### 3.1.2 検定の手順

---

#### (1) 検定の概要

先に示した検定の基本的な考え方に沿って、もう一度検定の概要を整理する。検定では、普段聞きなれない統計独特の用語を用いるので、その点にも注意してほしい。

検定とは、母集団の分布に関する仮説を統計的に検証するものである。サンプルやそのデータを検証するものではなく、母集団に関する仮説を、データを用いて検証することが目的である。

検定においては、主張したいことを対立仮説( $H_1$ と表現する)に置き、この仮説を否定する仮説を帰無仮説( $H_0$ と表現する)とする。対立仮説には、両側仮説と片側仮説とがあり、それぞれの場合の検定を両側検定、片側検定という。

帰無仮説が真であるにもかかわらず、対立仮説が真であると判断してしまう誤りを、第1種の誤り(過誤)、またはあわてものの誤りと呼び、その確率を有意水準、危険率などといい、記号 $\alpha$ で表す。これに対し、対立仮説が真であるにもかかわらず、帰無仮説が真であると判断してしまう誤りを、第2種の誤り(過誤)、またはぼんやりものの誤りと呼び、その確率を記号 $\beta$ で表す。一



順を示す。なお、母分散が既知であるということは一般的にはありえない。しかしながら、長期にわたって安定状態にある工程では、過去の多くのデータから  $\sigma^2$  を推定し、これを母分散として扱うことがある。

**【例題】**

従来、金属繊維製品の引張強度の母平均は 1000 (MPa)、母分散は  $50^2$  (MPa<sup>2</sup>) であった。今回、引張強度の向上を目的に合金成分の変更を行った。変更後の製品からランダムに選んだ 10 個のサンプルの引張強度を測定したところ、下記のデータを得た。母分散は変化しないものとして、引張強度が向上したかどうか検討する。

データ：985 1042 1062 1080 1003 1078 982 979 1058 1071

(単位：MPa)

**【解答】**

1) 検定

手順 1 検定の目的の設定

母分散が既知である 1 つの母集団の母平均について、母平均が大きくなったかどうかの片側検定を行う。

手順 2 帰無仮説  $H_0$  と対立仮説  $H_1$  の設定

母平均が大きくなったといたいので、対立仮説を  $H_1: \mu > \mu_0$  とする。

$$H_0: \mu = \mu_0 \quad (\mu_0 = 1000)$$

$$H_1: \mu > \mu_0$$

手順 3 検定統計量の選定

母分散が既知の場合の検定統計量は、前述のように、

$$u_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sqrt{\sigma^2/n}} \sim N(0, 1^2)$$

となる。

索引

【英数字】

1つの母不適合数  $\lambda$  に関する検定と推定 61,67  
 1つの母不適合品率  $P$  に関する検定と推定 61,62  
 1つの母分散の検定と推定 51  
 1つの母平均の検定と推定(母分散既知) 42  
 1つの母平均の検定と推定(母分散未知) 47  
 2因子交互作用 83,95  
 2水準系直交配列表 96  
 —実験 100  
 2つの母集団の母分散の比の検定と推定 58  
 2つの母集団の母平均の差の検定と推定(母分散未知) 54  
 2つの母不適合数  $\lambda_A$  と  $\lambda_B$  との違いに関する検定と推定 61,69  
 2つの母不適合品率  $P_A$  と  $P_B$  との違いに関する検定と推定 61,65  
 3シグマ法による管理図 120  
 3水準系直交配列表 96  
 —実験 107,110  
 $CL$  127,129,130,132,133,134  
 $CV$  23  
 $c$  管理図 126,134  
 $F$  表 30  
 $F$  分布 29  
 $H_0$  34  
 $H_1$  34  
 $LCL$  127,129,131,132,133,134

$np$  管理図 126,132  
 $PDCA$  5  
 $p$  管理図 126,131  
 $p$  値 36  
 $QCD$  3  
 $QCDS$  3  
 $QC$  的ものの見方・考え方 2  
 $R$  22,35  
 $S$  20  
 $s$  22  
 $SDCA$  5  
 Total Quality Management 2  
 $TQM$  2  
 $t$  表 27  
 $t$  分布 26  
 $UCL$  127,129,131,132,133,134  
 $u$  管理図 126,133  
 $V$  21  
 $X$  管理図 126,129  
 $\hat{x}$  20  
 $\bar{x}$  18  
 $\bar{X} - R_m$  管理図 129  
 $\bar{X} - R$  管理図 125  
 $\bar{X} - s$  管理図 126,127  
 $\chi^2$  表 28  
 $\chi^2$  分布 28

【あ 行】

あわてものの誤り 34  
 安定状態 123  
 維持活動 4  
 異常原因によるばらつき 123

異常パターンの例 137  
 一元配置実験 73,78  
 一般平均 75  
 伊奈の式 91,106  
 因子 72,73,95  
 ——の効果 72  
 上側管理限界 127,129,130,132,134  
 ウェルチの検定 57

## 【か行】

回帰係数 154  
 ——の計算 160  
 回帰式 154  
 ——の推定 160,161  
 回帰直線 154  
 回帰定数の計算 160  
 回帰分析 154  
 解析用管理図 125  
 改善活動 4  
 カイ二乗 29  
 確率関数 11  
 確率分布 9  
 確率変数 9  
 確率密度関数 10  
 片側仮説 34  
 片側検定 34,35  
 管理活動 4  
 管理限界 135  
 ——線 123,134  
 管理図 122,142  
 ——係数表 126,128  
 管理線 123  
 ——の計算 127,128,130,132,133,  
 134  
 管理用管理図 125,141

棄却域 35  
 危険率 34  
 規準化 16  
 擬水準法 119  
 期待値 11  
 ——の性質 12  
 基本統計量 18  
 帰無仮説 34  
 共分散 13  
 寄与率 163  
 偶然原因によるばらつき 122  
 区間推定 40  
 クセ 135  
 繰返し 72,73  
 ——のある二元配置実験 83  
 ——のない二元配置実験 83,92  
 群 123  
 計数值 11  
 ——の管理図 124,139  
 ——の検定と推定 61  
 計量値 10  
 ——の管理図 124  
 ——の検定と推定 42  
 欠点数 11  
 検出力 35  
 検定 32  
 ——の概要 34  
 検定統計量 35  
 交互作用 73,83  
 ——効果 73  
 ——の現れる列 101,111  
 工程異常の判定 136  
 工程の安定化 142  
 工程能力指数 23  
 工程能力の向上 142

交絡 83,93  
 誤差 73,76  
 誤差自由度 98  
 誤差平方和 98  
 誤差列 97

## 【さ 行】

最小二乗法 154,156  
 ——の考え方 156  
 最適水準 82,90,106,116  
 サタースウェイトの方法 57  
 残差の検討 159  
 散布図 144  
 サンプル 8  
 サンプルの平均  $\bar{x}$  の分布 (母分散  $\sigma^2$  既知) 25  
 サンプルの平均  $\bar{x}$  の分布 (母分散  $\sigma^2$  未知) 25  
 下側管理限界 127,129,130,132,134  
 実験計画法 72  
 重回帰分析 154  
 自由度 74,76,80,85,88,93,103,114,158,162  
 シューハート 122  
 主効果 73,73,95  
 ジュラン 3  
 試料相関係数 144  
 信頼区間 40  
 信頼率 41  
 水準 72,73  
 ——数 72,73  
 ——番号 96  
 推定 40  
 正規性 76  
 正規分布 10,15,25

——近似 62  
 ——の確率 18  
 ——表 17  
 正規方程式 157  
 製造品質 4  
 正の相関 142  
 成分の記号 96  
 積和 145  
 説明変数 154,155  
 設計品質 4  
 線点図 99,110  
 相関関係 144  
 相関係数 144,147  
 相関分析 144  
 層別 144

## 【た 行】

第1種の誤り 34  
 第2種の誤り 34  
 対立仮説 34  
 田口の式 91,106  
 多水準法 119  
 単回帰分析 154  
 単回帰モデル 155  
 中央値 20  
 中心線 127,129,130,132,133,134  
 直接近似 62  
 直交配列表 95  
 ——実験 73,95  
 ——を用いた分割法 118  
 データのグラフ化 79,87,101,111  
 データの構造式 75,84,86,93,101,111  
 できばえの品質 4  
 デミング 5  
 点推定 40

点の並び方, ちらばり方 135  
 等価自由度 57  
 統計的管理状態 123,135  
 統計量 18  
   —の分布 25  
 等分散性 76,83  
 独立性 76

## 【な行】

二元配置実験 73,83  
 二項分布 11,18  
 ねらいの品質 4

## 【は行】

外れ値 144  
 範囲 22  
 ヒストグラム 142  
 標準化 16  
 標準正規分布 16  
 標準偏差 13,22  
 標本 8  
 品質 3  
 品質管理 2  
 プーリング 84,89,96,104,114  
 プール 84,89  
 不適合数 11  
 不適合品数 11  
 不適合品率 11  
 負の相関 142  
 不偏性 76  
 不良個数 11  
 不良率 11  
 ブロック因子 119  
 ブロック間変動 119  
 分割法 119

分散 11,13,21  
   —の性質 14  
   —の比の分布 29  
 分散分析 74,75  
   —後の推定 81,90,94,105  
 分散分析表 74,77,80,85,88,104,114,  
   159,162  
   —の作成 94  
 平均値 18  
 平方和 20,80,87,101,112  
   — $S$ の分布 28  
   —の計算 159  
   —の分解 76,84,93,161  
 偏差平方和 21  
 変動係数 23  
 変量因子 119  
 ポアソン分布 11,18,61  
 母集団 8  
 母数 15  
   —因子 119  
 母相関係数 150  
   —の推定 151  
 母分散 15  
 母平均 12,15  
   —の区間推定 82,91,92,106,118  
   —の点推定 82,90,92,105,118  
 ほんやりものの誤り 34

## 【ま行】

無相関 142  
 メディアン 20  
 目的変数 154,155

## 【や行】

有意水準 34

有効繰返し数 106  
有効反復数 106  
要因 72  
要求品質 4

【ら行】

乱塊法 119  
ランダムサンプリング 8  
離散型確率変数 11,12  
離散分布 11

両側仮説 34  
両側検定 34,35  
列自由度 98,110  
列番号 100  
列平方和 97,109  
連続型確率変数 10,12  
連続分布 10

【わ行】

割り付け 99,110



無断使用をお断りします。日科技連出版社

●著者紹介

竹士 伊知郎(ちくし いちろう)

1979年 京都大学工学部卒業、(株)中山製鋼所入社。

金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了、博士(工学)。

現在 QMビューローちくし代表、関西大学化学生命工学部非常勤講師、  
(一財)日本科学技術連盟嘱託。

日本科学技術連盟などの団体、大学、企業において、品質管理・統計分野の講義、指導、コンサルティングを行っている。

主な品質管理・統計分野の著書に、『学びたい 知っておきたい 統計的方法』、『ことばの式でわかる統計的方法の極意』、『高校数学からはじめる統計学』(日科技連出版社)、『QC検定受検テキストシリーズ』、『QC検定対応問題・解説集シリーズ』、『QC検定模擬問題集シリーズ』、『速効! QC検定シリーズ』、『TQMの基本と進め方』(いずれも共著、日科技連出版社)がある。

## 品質管理のための統計的方法の活用

2024年4月29日 第1刷発行

著者 竹士 伊知郎

発行人 戸羽 節文

発行所 株式会社 日科技連出版社

〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-15-5

DSビル

電話 出版 03-5379-1244

営業 03-5379-1238

検印

省略

Printed in Japan

印刷・製本 港北メディアサービス(株)

© Ichiro Chikushi 2024

ISBN 978-4-8171-9796-2

URL <https://www.juse-p.co.jp/>

本書の全部または一部を無断でコピー、スキャン、デジタル化などの複製をすることは著作権法上での例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内での利用でも著作権法違反です。