

無断使用をお断りします。日科技連出版社

第3版

実験計画と 分散分析の はなし

◆ 効率よい計画とデータ解析のコツ

大村 平 著



日科技連

まえがき

私たち人類は——人類ばかりではないけれど——基本的には、長い年月を経て習得した経験から個人が生きる術や集団のルールを学び社会生活を営んでいます。けれども、消極的に過去の経験だけを頼っているのでは、はじめて経験する新しい事態への対応を間違えて痛い目に遭うことも少なくないし、だいいち、社会生活の発展が効果的ではありません。そこで、与えられた経験にだけに頼るのではなく、積極的に新しい経験を追求して、そこから貴重な教訓を習得しようと思ひ立ちました。それが実験です。

こういうわけですから、実験は未知への挑戦です。相手が未知ですから、なんの作戦もなく、へたな鉄砲かず撃ちゃ当たる、などと怠っていたのでは、犠牲が多い割に戦果が上がりません。そこで、実験に臨む作戦の基本ルールを先輩たちがいっしょうけんめいに開発しました。それが実験計画法です。

実験計画法は、一般には効率のいい実験計画の立て方と、実験データの分析法(分散分析)の両輪から成り立つとされ、とくに、企業レベルの実験に際しては、実験に要する経費や期間を節約し、実験結果に対して正当な判断を下すための切り札としての地位をすでに確立し、不動のものとしています。ただ残念なことに、実験計画の立て方や分散分析の手順がちと面倒で、初心者泣かせです。そこで、浅学の身をも顧みず、初心者が泣くことなく、しかも実験計画法の真髄に触れて

いただくと同時に、あすの実務にもすぐ使えるような入門書を書かせていただくことにしました。

「はなしシリーズ」の常として、紋切型に理論と手法を羅列するのではなく、一行一行なっとくずくで話を進めていきましょう。そのためには文章が冗長すぎたり、あちらこちらに寄り道をしたりすることをお許しいただきたいと思います。そのお詫びの印として、最後の章に実験計画の立て方と分散分析の手順を要約しておきました。冗長な本文に付き合えないほど忙しい方や短気な方は、最終の章をお読みになれば、なまはんかにしろ一応のツウになる仕掛けを作っております。

最後に、この本を世に出すために尽力していただいた日科技連出版社の方々、とくに、山口忠夫課長、丸山芳雅さん、そして、原稿の整理その他に協力してくれた梶田美智子さんに、心からお礼を申し上げます。

昭和 58 年 12 月

この本が出版されてから、もう、30年近くたちました。その間に思いもかけないほど多くの方々がこの本を取り上げていただいたことを、心からうれしく思います。ところが、その間の社会環境の変化などにより、文中の記述に不自然な箇所が目につきはじめました。そこで、そのような部分だけを改訂させていただきました。今後とも、さらに多くの方のお役に立てれば、これに過ぎる喜びはありません。

なお、改訂にあたっては、煩雑な作業を出版社の立場から支えてくれた、塩田峰久取締役に深くお礼を申し上げます。

平成 25 年 1 月

大 村 平

第3版発行にあたって

本書は、亡くなられた大村先生の夫人より許可をいただき、第3版として刊行するものです。第2版の刊行から10年以上たち、その間の社会環境の変化などにより、文中の記述に不自然な箇所が目につきはじめました。そこで、そのような部分だけを改訂させていただきました。

この改訂によって、本書がいままで以上に多くの方のお役に立てるなら、出版社一同、これに過ぎる喜びはありません。

令和6年3月

日科技連出版社 塩田峰久

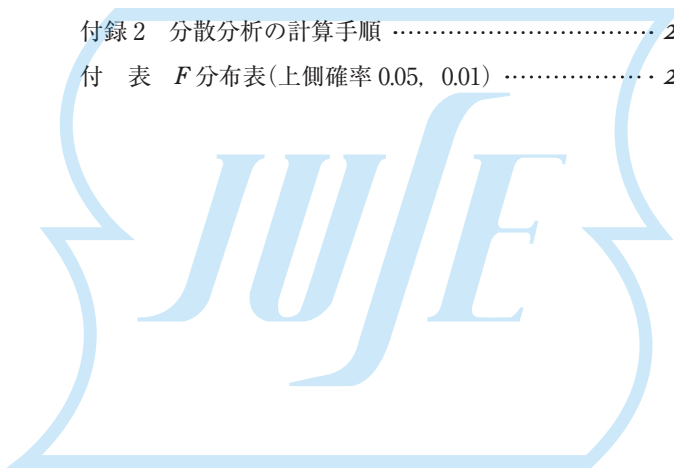
目 次

まえがき	iii
第3版発行にあたって	v
1. 商品見本 2 つ半	1
Man does something in vain	1
妙手発見	5
こんどは好手発見	10
商品見本の補足	14
2. ランダム化の功德	17
実験の目的はなにか	17
どうしたら誤差が減るか	20
層に分ける	22
順番も順序も公平に?	26
びっくり共振	30
でたらめを活用する	32
ランダム化する	37
実験回数をふやして誤差を減らす	40
過ぎたるは及ばざるがごとし	44

3. 因子が1つ——実験計画と分散分析	48
因子と水準	48
一元配置法	52
層別？ 因子が2つ？	56
実験データの処理を気遣う	61
種を仕掛ける	64
種を見破る	67
効果の有無を判定する	72
手順をまとめると	79
総変動は級間と級内の変動の合計	84
データの一部が欠けたら	88
4. 因子が2つ, 3つ, 4つ.....	
——実験計画と分散分析	92
二元配置法	92
乱塊法	96
種を仕掛ける	99
種を見破る	102
総変動の内訳を確認する	109
三元配置法に挑戦	111
またも、種を見破る	117
因子が4つでも、もっと多くても	121
5. ラテン方格を使う——実験計画と分散分析	126
すごいテクニックの種を仕掛ける	126

種を見破る	131
ラテン方格	136
実験回数を節約すると	139
交互作用はどうした	145
6. 交互作用と直交表	148
どれだけの情報を取り出せるか	148
交互作用の効果を分離する	152
水準数が不均一でも	157
2 因子の実験で交互作用がわかるか	161
2 因子の実験を繰り返すと	164
なにがわかるかを整理すると	168
2^2 型直交表	170
2^3 型直交表	176
2^n 型直交表	179
3^2 型直交表	182
線点図—点線図?	187
7. 手順トラの巻	190
実験データの分散分析	192
1 因子で実験の繰返しなし	192
1 因子で実験の繰返しあり	192
2 因子で実験の繰返しなし	195
2 因子で実験の繰返しあり	197
3 因子で実験の繰返しなし	201

実験計画の立て方	206
ランダム化と層別	206
因子数と実験の繰返し	207
実験数を節約したければ	208
付 録	212
付録1 43 ページの式(2.3)を補足する	212
付録2 分散分析の計算手順	213
付 表 F 分布表(上側確率 0.05, 0.01)	216



3. 因子が1つ

——実験計画と分散分析——

因子と水準

あまりしつこいと嫌われるかもしれませんが、またまたウナギの成長実験です。なにしろ、第1章ではウナギの成長実験を商品見本として展示したのですから、それが商品見本である以上、本文の中にもちよくちよく顔を出すのが自然の成り行きなのです。

第1章の商品見本では、ウナギの成長を支配する要因は餌、水温、水質の3つであると考え、その3つの因子を組み合わせて実験の計画をたてたのでした……と書きながら、おやっと思うのです。この表現では要因と因子が使い分けられているようで、ないようで、なんともあいまいではありませんか。

要因と因子の使い分けは、参考書によってまちまちなのですが、おごっぱにいうと、結果に影響を与えそうな主要な原因を要因と通称し、要因のうち意識的に採り上げたものを**因子**(factor)と呼ぶと思え

ばいいでしょう。たとえば、オデンの味に影響を与えそうな要因としては、オデンの種、ダシ、調味料、ナベの材質、フタの有無、温度などがあげられるでしょうが、すべての要因について実験をするのは手間がかかりすぎるので、オデンの種、ダシ、調味料の組合せについてだけ実験しようとしたなら、オデンの種、ダシ、調味料の3つがこの実験の因子です。おや、どうしてウナギがオデンに変わってしまったのかな？

ウナギに話を戻します。第1章の商品見本では、餌、水温、水質の3つを因子として採用してウナギの成長実験を計画したのでした。けれども、因子が3つもあるのは実験としてはやや高級のほうに属します。いちばん単純な実験は、もちろん、因子が1つだけの場合です。なんとといっても、1はすべての「はじまり」ですから……*。

たとえば、ウナギの成長には餌が決定的な支配力をもつことが事前にわかっているなら、そして、餌としてはビタミンかミネラルしか選択の余地がないなら、実験の計画はつぎのようになるでしょう。同じような大きさのウナギを2つのグループに分け

Aグループ には ビタミン

Bグループ には ミネラル

を、それぞれ与え、一定の期間の後に体重の増加を測定し、その結果からどちらの餌がウナギの成長に適しているかを判定します。そして、この実験データを記入するためのデータ・シートは、かりに、Aグ

* 1をつぎつぎに加え合わせていくと、2になり、3になり、4になり、……そして、すべての自然数ができてしまいます。で、ギリシアの昔、人々は数を作り出す原料もやはり数なのだろうかと思いに悩み、そして、1は数ではないとの結論に達し、1を数の「はじまり」と定義したそうです。日本でも、一と書いて「はじめ」と読ませる名前が少なくないのは、そのせいかな？

表 3.1 基本的なデータ・シート

ビタ ミ ン	ミ ネ ラ ル
.....
.....
.....
.....
.....

ループ、Bグループともに5匹ずつのウナギを使うなら、表3.1のようになり、……と印したところに体重増加の値を記入することになるでしょう。

いまの例では、因子としては餌だけを採り上げていました。すなわち、

因子が1の実験計画です。そして、もうひとつ特徴的なことは、因子である餌にはビタミンとミネラルしかなく、つまり因子の条件には2段階しかありません。このようなとき、この因子の水準(level)は2であるといえます。

もし、ひょっとしたらビタミンとミネラルを混合した餌が優れた効果を発揮するかもしれないというので、餌として

ビタミン、ミネラル、混合

の3種類を採り上げて実験するのであれば、餌という因子の水準は3、というわけです。そして、それぞれ5匹ずつのグループについて実験するなら、そのデータ・シートは表3.2のようになるでしょう。

水準(level)という用語が、ビタミン、ミネラル、混合の区分を表

表 3.2 こういうデータ・シートになる

ビタ ミ ン	ミ ネ ラ ル	混 合
.....
.....
.....
.....
.....

わすことに、いくらか抵抗があるかもしれません。水準という用語は、一般には、水準が高いとか低いとかいわれるように、値の高低を表現しているからです。それでは、こういう例はどうでしょうか。沸騰したお湯に入れた卵が何分で

好みの固さにゆで上がるかを実験してみてください。料理の経験がない方にとっては、ゆで卵ができ上がるのに何分くらいかかるかよくわからないのですが、けれども、まさか1分以内に固まってしまうこともなさそうですし、かといって、十数分も熱湯の中でゆでられれば、いくらしぶとい卵でもたいていは往生してしまいそうなものです。で、卵をゆでる時間を3分おきに

1, 4, 7, 10, 13, 16分

と変化させることにしましょう。つまり、ゆで時間という因子を6段階に変化させるのです。そうすれば、好みの固さにゆで上がる時間が発見できるにちがいありません。どうですか。こんどは、1, 4, 7, ……と順次に level が変化していますから、因子の水準が6、という表現がぴったりではありませんか。

この実験で各水準あたり3個ずつの卵を使うことにすると、データ・シートは表3.3のようになるはずです。ここで、表3.1, 表3.2, 表3.3を較べてみてください。いずれも因子が1つで、その因子の条件が水準の数だけ行の方向に並んでいる点が共通しています。この場合、列の方向は実験の繰返しを意味しています。もちろん、因子の水準を列の方向に並べ、行の方向には実験の繰返しをとることもできますが、因子の水準を行と列の同方向に同時に配置することはできません。

表 3.3 何分で卵が固まるか(水準6)

1分	4分	7分	10分	13分	16分
……	……	……	……	……	……
……	……	……	……	……	……
……	……	……	……	……	……

無断使用をお断りします。日科技連出版社

著者紹介

おむら ひとし
大村 平 (工学博士)

1930年 秋田県に生まれる

1953年 東京工業大学機械工学科卒業
防衛庁空幕技術部長, 航空実験団司令,
西部航空方面隊司令官, 航空幕僚長を歴任

1987年 退官. その後, 防衛庁技術研究本部技術顧問,
お茶の水女子大学非常勤講師, 日本電気株式会社顧問

2021年 逝去

実験計画と分散分析のはなし【第3版】

—効率よい計画とデータ解析のコツ—

1984年3月6日 初版第1刷発行
2011年11月1日 初版第26刷発行
2013年1月29日 改訂版第1刷発行
2021年6月25日 改訂版第12刷発行
2024年4月29日 第3版第1刷発行

著者 大村 平
発行人 戸羽 節文

検印
省略

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

Printed in Japan 印刷・製本 シナノパブリッシングプレス

© Michiko Ohmura 1984, 2013, 2024 ISBN978-4-8171-9797-9

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。