



連載TOPへ **【書籍化決定！】本コンテンツの公開は2015年5月7日までとなります。**

第10回 実験計画はお早めに一完全無作為化法

実験医学2015年2月号

はじめに

これまで4回にわたって、パラメトリック統計理論について解説してきました。もちろん、厳密さにこだわるのであれば、もっと数学的な内容 をご紹介する必要があったでしょう。しかし、本連載全体の趣旨からいえば、そのようないわゆる「数理統計学」の詳細を追い求めるのではなく、むしろ現実 に 得られるデータを踏まえてどのように統計学的考察を進めていくのかという点に軸足を置く方が適切でしょう。

一方では、厳密な数学理論体系としてのパラメトリック統計学があり、他方では、日々の研究現場で生まれ続ける生のデータがある。統計ユー ザーである私たちにとっ ては、理論とデータの両方をバランスよくみながら、進むべき道をよく考える必要があ るでしょう。しかし、そうはいわれても実際にど うすればいいのか戸惑う読者は少なく ないかもしれません。

本連載の読者にとっては、統計学的に致命的ミス を犯さない実験観察のプランニング 技法すなわち「実験計画法」は日常的に必要な知識だ と思います。ある実験を進めようとするとき、その計画がはたして統計学的に問題ないのかを事前に検討することは、その実験に投入される金銭と時間、そして マンパワーを無駄にしないために不可 欠だからです。

そこで、今回からは実験計画法の実例をお見せしながら、数値データからの計算を進める作業段階と、それを背後から理論的に支える統計学理論との絶妙なかかわり合いを説明しましょう。

§ 実験計画法の基本原則

そもそも実験計画法って何なんですか？

農業実験は農作物の食料生産と品質管理にとって不可欠です。しかし、今から一世紀前、農業実験を正確に実施するための科学的な基本方針がまっ たくなく、現場の実験者たちに委ねられていたのが実情でした。イギリスのロザムステッド農業試験場に所属していた生物統計学者ロナルド・フィッシャー（Ronald A. Fisher, 1890～1962）は、1920年代に、のちに実験計画法（experimental design）とよばれる理論体系のもとになる論文を出版しました。「野外実験の準備」と題されたこの論文¹⁾には、今なお有効な実験計画の次の三原理の理念が提唱されていました：

- ①反復実施： 同一実験処理を複数回実施することにより、その処理にともなうばらつきを評価する。
- ②無作為化： 実験処理区のランダムな配置をすることにより、背景要因によるデータへの体系的な影響を偶然誤差化する。

羊土社HP会員 English page

ログインしていません

羊土社HP会員とは？ ログイン

書籍検索

実験医学の定期購読

最新号がWEBでも読める！

国内送料無料

実験医学

月刊実験医学新刊

実験医学

次号予告

バックナンバー

連載一覧

掲載広告一覧

定期購読案内

詳細をみる

カートに入れる

実験医学増刊号新刊

実験医学

次号予告

バックナンバー

掲載広告一覧

定期購読案内

詳細をみる

カートに入れる

実験医学 電子バックナンバー発売中

DIGITAL ARCHIVE

新着情報 人材・セミナー案内

広島大学大学院「放射線災害復興を推進するフェニックスリーダー育成プログラム」

平成27年10月入学者募集のお知らせ

詳細や他の情報はINFORMATIONコーナーをご覧ください

羊土社新刊・近刊

骨ペディア

サイトカイン・増殖因子キーワード

Dr.北野の0から始まるシステムバイオロジー

詳細 購入

詳細 購入

詳細 購入

>>新刊一覧へ

学会売行き良好書情報

● 第37回 日本分子生物学会 年会 (14/12/02)

>>過去の売行き情報はこちら

実験医学 550号 突破！

アンケートに答えて
『ゴゴカレー』を
多数のご回答ありがとうございました

実験医学 @Yodosha_EM on Twitter

実験医学 jikkenigaku on Facebook

教科書・サブテキスト
をお探しの方へ

臨床医学系書籍
TOPページ(総合)

プライマリケアと救急を中心とした総合誌
レジデントノート
月刊 増刊

③局所管理：実験場所を適切にブロック分割することにより、ブロック内の実験環境の均一化をはかる。

フィッシャーが提唱した実験計画の三原理は、農業実験にかぎらず、あらゆる分野での実験のプランニングをする際の統計学的なガイドラインとして常に目配りする必要があります。その理由は、綿密な設計を怠ったまま実験を実施したとき、得られたデータが統計学的な分析にかけられないリスクが高まるからです。その意味で、実験計画は、単にデータの解析法にとどまるわけではなく、むしろデータをとるための実験を思い立った最初の段階からすではじまっていると考えるべきでしょう。

§ なぜ試験区配置の無作為化が必要なのか

以下では、農業実験の実例の一つとして、Gomez and Gomez (1984) ²⁾ から雑虫剤試験の実例をとり上げ、実験計画の理念とその実践について説明を進めましょう。この殺虫剤試験は、対照群（無処理群）を含めた7種類の殺虫剤（a～g）がイネの収量に対して及ぼす効果を調べるために、フィリピン国際イネ研究所（IRRI）で実際に行われた実験です。実験計画法では、ここでの殺虫剤は実験者がコントロールできる要因（factor）であり、異なる殺虫剤はその要因を構成する水準（level）とよべます。

本実験では1要因7水準に関して4反復の試験区が設定されました。これは同一水準の実験が4回反復されるわけですから、フィッシャーの「反復実施」の原則が守られていることになります。7水準を4反復するためには合計28試験区が必要になります。図1は実験圃場における28試験区の配置を図示しています。ひと目でわかるように“無作為化”されたこの試験区配置はもちろんフィッシャーの「無作為化」の原則を踏まえています。無作為化配置がなぜ必要かは、無作為化されなかったならばどういう結末になるかを考えれば明白です。図2は無作為化されていない仮想的な試験区配置です。

a	b	c	d	g	f	c
e	d	a	g	c	g	f
d	f	g	b	e	d	b
b	c	e	a	f	a	e

図1 殺虫剤試験での試験区の無作為化配置

a	b	c	d	e	f	g
a	b	c	d	e	f	g
a	b	c	d	e	f	g
a	b	c	d	e	f	g

図2 無作為化されていない試験区配置

この図2の試験区配置はすべての水準が端からきれいに並べられていますが、その点が致命的なリスクを抱える原因となります。たとえば、この圃場の水平方向に潜在的な土壌水位の勾配があって、左側ほど湿潤な試験区だったとします。殺虫剤の水準aはもっとも湿潤な試験区に集中的に配置されたことになります。収穫してみたところ、水準aの収量がとても多かったと仮定しましょう。このとき私たちは「殺虫剤aが効いたから高収量なのだ」と結論できるでしょうか。

いいえ！もしかしたら水位が高いから収量が高いのかも知れないじゃないですか。そのとおりです。そしていかなる統計手法を駆使したとしても、水準aの効果と土壌水位の効果とを区別することはできません。試験区配置を無作為化しなかったために、水準と土壌水位という2つの要因効果が混じりあってしまったからです〔実験計画法では交絡（confounding）とよびます〕。要因間の交絡がある場合、その実験計画は最初からまちがっていたと結論するしかありません。実験計画の大切さがおわかりいただけたでしょうか？一方、図1の無作為化配置ではすべての水準は土壌水位の異なるさまざまな試験区に割り付けられているので、土壌水位のちがいは独立に雑虫剤の効果を調べるのが可能です。Fisherの無作為化の意義はここにあります。この図1に示されたような無作為化配置を含む実験計画は完全無作為化法とよばれています。

§ 完全無作為化法の実験データと統計モデル

完全無作為化法にしたがって試験区が割り付けられた図1の殺虫剤試験では表1に示すような収量データが得られました。表1の左端には処理（treatments）の水準が列挙されています。続く各行には反復された4データ値（kg/ha）が並べられ、さらにその右

側には水準ごとの処理和 (treatment total) と処理平均 (treatment mean) が計算されています。全体を集計した総和 (grand total) と総平均 (grand mean) が下段に記されています。

表1 殺虫剤試験で各水準ごとに反復された試験区から得られたデータ (文献1より引用)

処理	データ (kg/ha)				処理和 (T)	処理平均
Dol-Mix (1 kg)	2,537	2,069	2,104	1,797	8,507	2,127
Dol-Mix (2 kg)	3,366	2,591	2,211	2,544	10,712	2,678
DDT+γ-BHC	2,536	2,459	2,827	2,385	10,207	2,552
Azodrin	2,387	2,453	1,556	2,116	8,512	2,128
Dimecron-Boom	1,997	1,679	1,649	1,859	7,184	1,796
Dimecron-Knap	1,796	1,704	1,904	1,320	6,724	1,681
Control	1,401	1,516	1,270	1,077	5,264	1,316
Grand total (G)					57,110	
Grand mean						2,040 総平均

収量データが得られ、その集計がまとめられた時点で、実験計画法は次の段階に移ります。表1をよくみると、計28個それぞれのデータが多かれ少なかればらついていることはすぐにわかります。しかし、私たちの目的は一つひとつのデータのばらつきの観察にあるわけではありません。そもそもこの試験をやろうと思いついたのは、イネの収量に対して各殺虫剤がどれくらい効くのかを知りたいという目的があったからでしょう。

データ 総平均

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} \quad (\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2))$$

第*i*水準
第*j*標本

処理効果

誤差項

誤差の正規性(仮定)

処理	データ (kg/ha)				処理和 (T)	処理平均
Dol-Mix (1 kg)	2,537	2,069	2,104	1,797	8,507	2,127
Dol-Mix (2 kg)	3,366	2,591	2,211	2,544	10,712	2,678
DDT+γ-BHC	2,536	2,459	2,827	2,385	10,207	2,552
Azodrin	2,387	2,453	1,556	2,116	8,512	2,128
Dimecron-Boom	1,997	1,679	1,649	1,859	7,184	1,796
Dimecron-Knap	1,796	1,704	1,904	1,320	6,724	1,681
Control	1,401	1,516	1,270	1,077	5,264	1,316
Grand total (G)					57,110	
Grand mean						2,040 総平均

図3 殺虫剤試験での線形統計モデル(数式)とデータの全偏差と処理偏差誤差偏差の関係(表) 左辺の「 x_{ij} 」は第*i*水準第*j*反復のデータを意味する。したがって水準数 $i = 1, 2, \dots, 7$ であり、反復数 $j = 1, 2, \dots, 4$ となる。この x_{ij} は実測された数値データだが、等号の右辺はこれらのデータをどのように説明するかの基本方針をモデルとして明示している。右辺の総平均 (μ) は定数。一方、処理効果 (α_i) は第*i*水準の処理効果を表す数値であり、水準によって効いたり (正值) だったり効かなかったり (負値) する。また、最後の誤差項 ϵ_{ij} はデータに偶然的なばらつきを生じさせる要因であり、水準*i*と反復*j*に関係なくつねに同一の正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従うと仮定する。

得られたデータを統計解析するための方針は、実験計画を立てた時点で私たちが想定している線形統計モデル (linear statistical model) を確認することからはじまります。本例で仮定されている統計モデルは図3に示すとおりです。要するに、図3の統計モデルは、データ「 x_{ij} 」の総平均 μ のまわりのばらつきは処理要因「 α_i 」と誤差要因「 ϵ_{ij} 」の2つの要因によって生じているものと解釈すると宣言しているわけです。

では、この線形統計モデルがデータのばらつきの原因を探るうえでどのように用いられるのでしょうか。それについては次回の記事で説明することにしましょう。

文献

- 1) Fisher RA : Journal of the Ministry of Agriculture of Great Britain, 33 : 503-513,

1926

- 2) Gomez KA & Gomez AA：Statistical Procedures for Agricultural Research, Second Edition. John Wiley & Sons, New York, 1984

[SHARE]  Tweet  シェア 

[Prev](#) [10](#) [Next](#)

[TOP](#)

「第11回 正規分布を踏まえたパラメトリック統計学が降臨する」は、本誌[2015年3月号](#)を御覧ください

本記事の掲載号



実験医学 2015年2月号 Vol.33 No.3
多細胞社会が形をつくる、器官を生み出す
倉永英里奈／企画
定価 2,000円＋税， 2015年1月発行
[▶詳細](#) [▶購入](#)

本連載に関する質問・感想、統計に関する具体的な悩みを編集部までお寄せください！

- 下記画像中の英数字をご入力ください



[画像を変更する](#)

おすすめ書籍



[▶詳細](#) [▶購入](#)



[▶詳細](#) [▶購入](#)



[▶詳細](#) [▶購入](#)



[▶詳細](#) [▶購入](#)



[▶詳細](#) [▶購入](#)

[会社案内](#) | [採用情報](#) | [個人情報取扱い](#) | [お問い合わせ](#) | [広告掲載について](#)

(C)2014 [YODOSHA CO., LTD.](#) All Rights Reserved.