

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月25日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540142

研究課題名（和文） ネステッド構造をもつ分割型2因子実験の構成法の研究

研究課題名（英文） Research on the construction methods for two-factor experiments of split types with the nested structure

研究代表者

栗木 進二（KURIKI SHINJI）

大阪府立大学・工学研究科・教授

研究者番号：00167389

研究成果の概要（和文）：2因子実験を行うために、いくつかの区画（ブロックという）があり、各ブロックはp行q列に分割され（この小さい区画をwhole-plotという）、ある因子の水準がwhole-plotに割り付けられる。さらに、各whole-plotはいくつかのsubplotに分割され、もう1つの因子の水準がsubplotに割り付けられる。この研究において、このようなネステッド構造をもつ分割型2因子実験の構成法が与えられた。

研究成果の概要（英文）：In order to perform a two-factor experiment, there are some sections (called blocks), each block is divided into p rows and q columns (the small sections are called whole-plots), and the levels of a factor are arranged on the whole-plots. Furthermore, each whole-plot is divided into some subplots, and the levels of another factor are arranged on the subplots. In this research, the construction methods for such two-factor experiments of split types with the nested structure were given.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：統計数学

科研費の分科・細目：数学・数学一般（含確率論・統計数学）

キーワード：統計数学，実験計画法，構成法，ネステッド構造，分割型実験，2因子実験

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の背景・動機として、次の2つが挙げられる。

(1) 分割型2因子実験に対する従来の構成法は、実験回数が多く、実用的ではない。そこで、実験回数のより少ない実用的な分割型2因子実験の構成法が必要となる。このことが基盤研究(C)(2)(2004～2005年度)研究課題名「実験計画法における計画の構成法の研究」（研究代表者：栗木進二，課題番号：

16540114）の研究テーマであり、我々はいくつかの構成法を与え、その分割型2因子実験の統計的性質を明らかにした。

(2) ネステッド構造をもつ分割型2因子実験はKachlicka and Mejza (1996)によって最初に導入され、その応用が農事試験等にみられる。Kachlicka and Mejza (2004), Mejza and Kachlicka (2008)において、その構成法が与えられ、その統計的性質が明らかにされたが、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験の

構成法の問題はまだ初期段階の状況にあるといえる。

## 2. 研究の目的

本研究の対象はネステッド構造をもつ分割型2因子実験であり、本研究は「1. 研究開始当初の背景」に記載された(1)の結果を(2)に応用し、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験の新しい構成法を提案しようとい図したものであった。ネステッド構造をもつ分割型2因子実験において、whole-plot, subplot に割り付けられる水準をそれぞれ whole-plot 処理, subplot 処理という。我々の関心は whole-plot 処理の主効果, subplot 処理の主効果, whole-plot 処理と subplot 処理の交互作用効果の比較にあり、これらの標準対比を精度良く推定できる分割型2因子実験が望まれ、このために、どのように whole-plot 処理, subplot 処理を割り付けるかが問題とされる。本研究の主たる目的は次の2つであった。

- (1) 実験回数のより少ない実用的なネステッド構造をもつ分割型2因子実験の構成法を提案する。
- (2) (1)の方法によって構成されるネステッド構造をもつ分割型2因子実験の統計的性質を明らかにする。

## 3. 研究の方法

Kachlicka and Mejza (1996)は、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験に対するモデルとして、ブロック効果、各ブロックの行効果、各ブロックの列効果、whole-plot 効果、subplot 効果を確率変数とし、ブロックの無作為化、各ブロックにおける行の無作為化、各ブロックにおける列の無作為化、各 whole-plot における subplot の無作為化を考慮した混合モデルを考え、whole-plot 処理, subplot 処理の主効果、交互作用効果を推定するために、多重層解析が適用できることを示した。最近、Kachlicka and Mejza (2004), Mejza and Kachlicka (2008)は whole-plot 処理に関する計画として Youden square を用い、subplot 処理に関する計画として balanced incomplete block design (BIBD), partially balanced incomplete block design (PBIBD)を用いて、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験を構成し、その統計的性質を明らかにした。多重層解析を用いて標準対比の推定を行うとき、同じ標準対比の推定量が多重層解析の各層から得られる(この性質を generally balanced という)ことが重要であり、さらに、どの標準対比が各層においてどれくらいの効率で推定されるかを表す層効率因子が重要である。統計的性質を

明らかにするというはこの標準対比と層効率因子を明らかにすることを意味している。

Whole-plot 処理に関する計画はネステッド構造をもつとし、そのブロックは  $p$  行  $q$  列に配列されているとする。Whole-plot 処理に関する計画の各 whole-plot 処理に subplot 処理に関する計画のブロックを埋め込むことによって、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験の構成法を考察した。Kachlicka and Mejza (2004), Mejza and Kachlicka (2008)は whole-plot 処理に関する計画として Youden square を用い、subplot 処理に関する計画として BIBD, PBIBD を用いて、各 whole-plot 処理に subplot 処理に関する計画の同じブロックを埋め込むことによって、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験を構成したが、以下、この方法を KM 法と呼ぶことにする。まず、KM 法によって、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験を構成することに議論を集中し、そのために、whole-plot 処理, subplot 処理に関する計画として、どのような計画を取り得るかを考察した。次に、KM 法ではない新しいネステッド構造をもつ分割型2因子実験の構成法を考察したが、これらの詳細については、「4. 研究成果」の項で述べることにする。

## 4. 研究成果

本研究の主たる成果を列記するが、多くのパラメータに対して、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験を構成することができ、実用性の観点から、これらの結果は有用であると考えられる。

(1)まず、Kachlicka and Mejza (2004), Mejza and Kachlicka (2008)の結果を一般化し、KM 法によって、whole-plot 処理に関する計画として Youden square を用い、subplot 処理に関する計画として一般のブロックサイズが一定の design を用いて、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験を構成し、その統計的性質を明らかにした。

(2)Youden square とは各行にはすべての処理が1度ずつ現れ、列をブロックとして考えると対称型 BIBD となるネステッド構造をもつ計画である。KM 法によって、whole-plot 処理に関する計画として Youden square を一般化し、cyclic design, nested row-column design, BIBD with nested rows and columns を用い、subplot 処理に関する計画として一般のブロックサイズが一定の design を用いて、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験を構成し、その統計的性質を明らかにした。Cyclic design については、cyclic クラスを各行にすべての処理が同数回ずつ現れるように配置し、ネステッド構造をもつ計画を構

成したが, cyclic クラスが複数ある場合, generally balanced の性質が満たされるためには, それらのクラスを分割できないことがわかった. また, whole-plot 処理に関する計画として Youden square, cyclic design を用いると, 多重層解析における第 2 層の層情報行列がゼロとなるが, nested row-column design, BIBD with nested rows and columns を用いると, この欠点が改善されることがわかった.

(3) KM 法においては, 各ブロックのすべての whole-plot に同じ subplot 処理が割り付けられることになり, その双対型の計画として, 各ブロックには同じ whole-plot 処理を割り付け, 各ブロックの whole-plot には異なる subplot 処理を割り付けて, ネステッド構造をもつ分割型 2 因子実験を構成し, その統計的性質を明らかにした. ここで, subplot 処理に関する計画として square lattice design を用いた.

(4) 分割型 2 因子実験 (2 因子を A, B とする) の各ブロックは  $p$  行  $q$  列に配列され, 行に因子 A の水準が割り付けられ, 列に因子 B の水準が割り付けられる. この 2 因子実験はネステッド構造をもたないが, これらのブロックを並べ替えて新しいブロックを作り, ネステッド構造をもつ分割型 2 因子実験を構成し, その統計的性質を明らかにした. 因子 A の水準が whole-plot 処理であり, 因子 B の水準が subplot 処理である. ここで, whole-plot 処理に関する計画として resolvable design を用い, subplot 処理に関する計画として square lattice design を用いた. この方法は KM 法ではない新しい構成法であり, 従来の分割型 2 因子実験からネステッド構造をもつ分割型 2 因子実験を構成するものである.

今後の研究課題として, (3), (4) の新しい構成法に対して, whole-plot 処理, subplot 処理に関する計画としてどのような計画を用いることができるかについての考察と (4) の更なる構成法の開発が挙げられる. 分割型 2 因子実験に関する研究は, 現在, このような実験を実際に行っているヨーロッパ諸国等で盛んであり, 本研究成果はそれらの諸国の実験計画法の研究者 (海外共同研究者である Mejza 教授がそうであるが) に大きなインパクトを与えていると考えている. 最後に, Mejza 教授はポーランドのポズナニ生命科学大学に所属し, 実験計画法の理論家であると同時にポーランドの農事試験に深く関わり合いをもつ実家でもあり, この研究期間の 3 年間に 3 度の 10 日間程度の Mejza 教授との共同研究を行ったことは非常に有意義であったことを付記する.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 25 件)

(1) Kuriki, S., Mejza, I., Mejza, S., Incomplete split-plot designs supplemented by a single control, Communications in Statistics-Theory and Methods. (掲載決定) (査読有)

(2) Mejza, I., Mejza, S., Kuriki, S. (2012) A method of constructing incomplete split-plot designs supplemented by control treatments and their analysis, Journal of Statistical Theory and Practice 6, 204-219. (査読有)

DOI:10.1080/15598608.2012.647583

(3) Kanamori, T., Uehara, H., Jimbo, M. (2012) Pooling design and bias correction in DNA library screening, Journal of Statistical Theory and Practice 6, 220-238. (査読有)

DOI:10.1080/15598608.2012.647585

(4) Fuji-Hara, R., Miao, Y. (2011) Multi-structured designs and their applications, Information Security, Coding Theory and Related Combinatorics, Crnkovic, D. and Tonchev, V. (Eds.), IOS Press, 323-362. (査読有)

(5) Esmailzadeh, N., Talebi, H., Momihara, K., Jimbo, M. (2011) A new series of main effects plus one plan for  $2^m$  factorial experiments with  $m=4\lambda+1$  and  $2m$  runs, Journal of Statistical Planning and Inference 141, 1567-1574. (査読有)

DOI:10.1016/j.jspi.2010.11.008

(6) Tanaka, H. (2010) Sufficient conditions for the admissibility under LINEX loss function in regular case, Communications in Statistics-Theory and Methods 39, 1477-1489. (査読有)

(7) Mejza, I., Mejza, S., Kuriki, S. (2009) Square lattice designs in incomplete split-block designs, Journal of Statistics and Applications 4, 327-338. (査読有)

(8) Mejza, S., Kuriki, S., Kachlicka, D. (2009) Repeated Youden squares with subplot treatments in a group-divisible design, Journal of Statistics and Applications 4, 369-377. (査読有)

(9) Kuriki, S., Mejza, S., Mejza, I., Kachlicka, D. (2009) Repeated Youden squares with subplot treatments in a proper incomplete block design, Biometrical Letters 46, 153-162. (査読有)

(10) Fuji-Hara, R., Momihara, K., Yamada,

M. (2009) Perfect difference systems of sets and Jacobi sums, Discrete Mathematics 309, 3954-3961. (査読有)

[学会発表] (計 27 件)

- (1) Jimbo, M., Mutually orthogonal t-designs over C related to quantum jump codes, WilsonFest-a conference in honor of Rick Wilson, 2012年3月29日, Caltech, USA
- (2) Kuriki, S., A construction method of incomplete split-block designs supplemented by control treatments, International Conference on Advances in Probability and Statistics-Theory and Applications, 2011年12月31日, Hong Kong, China
- (3) 栗木進二, 分割型 2 因子実験の構成法, 研究集会「離散数理構造とその応用」, 2011年11月18日, 名古屋大学
- (4) 栗木進二, Cyclic design を用いた incomplete split-plot design の構成法, 日本数学会 2011 年度秋季総合分科会, 2011年10月1日, 信州大学
- (5) 田中秀和, Second order admissibilities in two-parameter logistic regression model, 日本数学会 2011 年度秋季総合分科会, 2011年9月30日, 信州大学
- (6) Jimbo, M., Quantum jump codes and related combinatorial designs, 2011 Taiwan-Japan Conference of Combinatorics and its Applications, 2011年4月3日, Tamsui, Taiwan
- (7) Kuriki, S., Incomplete split-plot designs, 2011 Taiwan-Japan Conference of Combinatorics and its Applications, 2011年4月2日, Tamsui, Taiwan
- (8) 栗木進二, Cyclic design を用いた分割型ユニットをもつ 2 因子実験の構成法, 研究集会「実験計画法およびその周辺領域における組合せ構造の解明とその応用」, 2010年12月1日, 城崎大会議館 (兵庫県)
- (9) 神保雅一, Recursive constructions of t-SEEDs related to quantum jump codes, 研究集会「実験計画法およびその周辺領域における組合せ構造の解明とその応用」, 2010年11月29日, 城崎大会議館 (兵庫県)
- (10) Kuriki, S., A construction method of incomplete split-block designs supplemented by control treatments, Applied Statistics 2010, 2010年9月19日, Ribno, Slovenia
- (11) Jimbo, M., Quantum jump codes and related combinatorial designs, Information Security, Coding Theory and Related Combinatorics, 2010年6月1日, Opatija, Croatia
- (12) 栗木進二, 分割型ユニットをもつ 2 因

子実験の構成法, 日本数学会 2010 年度年会, 2010年3月25日, 慶応義塾大学

- (13) Kuriki, S., A construction method of incomplete split-plot designs supplemented by control treatments, 4th Workshop on Statistics, Mathematics and Computation, 2009年11月9日, Lisbon, Portugal
- (14) 神保雅一, Cyclic SQSs admitting all units as their multipliers, 研究集会「組合せデザイン理論とその応用」, 2009年8月30日, ウェルシティ湯河原 (静岡県)
- (15) Tanaka, H., On sufficient conditions for admissibility under LINEX loss, 57th Session of the International Statistical Institute, 2009年8月20日, International Convention Center, 南アフリカ
- (16) Fuji-Hara, R., Perfect Hash Families PHF(3;n, m, 3) from Quadrics  $Q(4, q)$  and Hermitian Varieties  $H(3, q^2)$ , The 9th International Conference on Finite Fields and Their Applications, 2009年7月16日, Dublin 大学, アイルランド

[その他]

ホームページ

<http://www.ms.osakafu-u.ac.jp/~kuriki/index-j.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

栗木 進二 (KURIKI SHINJI)  
大阪府立大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 00167389

### (2) 研究分担者

藤原 良叔 (FUJI-HARA RYOSYUKU)  
筑波大学・システム情報工学研究科・教授  
研究者番号: 30165443  
神保 雅一 (JIMBO MASAKAZU)  
名古屋大学・情報科学研究科・教授  
研究者番号: 50103049  
田中 秀和 (TANAKA HIDEKAZU)  
大阪府立大学・高等教育推進機構・講師  
研究者番号: 50302344

### (3) 連携研究者

なし