

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540139

研究課題名(和文) コントロールをもつネステッド分割型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 nested split types with controls

研究代表者

栗木 進二 (KURIKI, SHINJI)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00167389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：コントロールをもつ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)、ある因子の処理が 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つの因子の処理が subplot に割り付けられる。この研究において、このようなコントロールをもつネステッド分割型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 with controls, there are some fields (called blocks), each block is divided into p rows and q columns (the small fields are called whole-plots), and the treatments of a factor are arranged on the whole-plots. Furthermore, each whole-plot is divided into some subplots, and the treatments of another factor are arranged on the subplots. In this research, the construction methods for such two-factor experiments of nested split types with controls were given.

研究分野：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 コントロール 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) 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) において、その構成法が与えられ、その後、我々はネステッド構造をもつ分割型2因子実験に対するいくつかの構成法を与え、その統計的性質を明らかにした。このことが基盤研究(C) (2009~2011年度) 研究課題名「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」(研究代表者: 栗木進二, 課題番号: 21540142) の研究テーマであった。

(2) 通常のブロック計画において、コントロールをもつ場合が議論され、コントロールをもつ最適なブロック計画の構成法に関する多くの結果がある。それらの結果を用いて、我々はコントロールをもつ分割型2因子実験に対するいくつかの構成法を与え、その統計的性質を明らかにした。このことが基盤研究(C) (2006~2008年度) 研究課題名「コントロールをもつ分割型2因子実験の構成法の研究」(研究代表者: 栗木進二, 課題番号: 18540136) の研究テーマであった。

### 2. 研究の目的

本研究の対象はコントロールをもつネステッド分割型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(2)の結果を(1)に応用し、本研究の対象となる2因子実験の構成法を提案しようと思図したものであった。2つの因子A, B(たとえば、小麦の品種と肥料)があり、それぞれの処理には、コントロール、すなわち、標準的な処理(たとえば、従来から評価され、市場に流通している小麦の品種)とテスト処理(新しく開発された小麦の品種)がある。因子Aの処理を whole-plot に割り付け、因子Bの処理を subplot に割り付けて、2因子実験を行い、因子A, 因子Bの主効果、交互作用効果を比較し、各因子のどの処理に効果があるか、また、2つの因子のどの処理組合せに効果があるか、特に、コントロールとテスト処理の効果について調べることが我々の関心事であり、本研究の主たる目的は次の2つであった。

(1) 実験回数よりも少ない実用的なコントロールをもつネステッド分割型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コントロールをもつネステッド分割型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、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、主効果、交互作用効果の標準対比を推定するために、多重層解析を適用できることを示した。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一般的な形で表すことを意味している。

Kachlicka and Mejza (2004), Mejza, Kuriki and Kachlicka (2009), Kuriki, Mejza, S., Mejza, I. and Kachlicka (2009) は Youden square を因子Aに対する計画として用い、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験の構成法を与え、その統計的性質を明らかにした。また、「1. 研究開始当初の背景」の(1)にある研究課題名において、我々は Youden design, generalized Youden design, balanced incomplete block design with nested rows and columns, cyclic design, nested row-column design を因子Aに対する計画として用い、ネステッド構造をもつ分割型2因子実験の構成法を与え、その統計的性質を明らかにした。これらのネステッド構造をもつ分割型2因子実験に因子A, Bのそれぞれのコントロールを付加することによって、コントロールをもつネステッド分割型2因子実験の構成法を提案し、その統計的性質を明らかにすることを考えた。因子A, Bのコントロールをどのように whole-plot, subplot に割り付けるかについては、「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、コントロールをもつネステッド分割型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) 因子Aのテスト処理からなるネステッド構造をもつ計画の各ブロックの各行(あるいは各列)あるいは各行各列に因子Aのコントロールを同数回ずつ割り付けた計画を因子Aの計画として用いた。また、因子Bのテスト処理からなるブロックサイズが一定の計画の各ブロックに因子Bのコントロールを同数回ずつ割り付けた計画を因子Bの計画として用いた。因子Aの計画の処理を whole-plot 処理とし、その whole-plot に因子Bの計画の各ブロックを埋め込むことによって、コントロールをもつネステッド分割型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、ネステッド構造をもつ計画として、「3. 研究の方法」にある

因子 A に対する計画を用いた。

(2) ネステッド構造をもつ計画の処理のいくつかをコントロールとする計画を因子 A の計画として用い、因子 A の計画の各 whole-plot に因子 B の計画の各ブロックを埋め込むことによって、コントロールをもつネステッド分割型 2 因子実験を構成し、その統計的性質を明らかにした。この場合には、Latin square を因子 A の計画として用い、(1) と同じ計画を因子 B の計画として用いた。

(3) Cyclic design を因子 A のテスト処理に対する計画として用い、(1) と同じ計画を因子 B の計画として用いた場合を記載する。ただし、cyclic design について、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。しかし、square lattice design を因子 B のテスト処理に対する計画として用いると、cyclic design の cyclic クラスを分割できることがわかり、実験回数のより少ない実用的なコントロールをもつネステッド分割型 2 因子実験を構成することができ、その統計的性質を明らかにすることができた。これは square lattice design の共生起行列の固有ベクトルに関する結果が大きな役割を果たしている。共生起行列の固有値は一般的に求められるが、固有ベクトルは一般的には求められないというのが通常であり、その意味で、square lattice design の固有ベクトルに関する結果は興味深いものである。この結果は基盤研究(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)において得られたものである。

今後の研究課題として、(3) の構成法に着目し、まず、cyclic design を用いて、実験回数のより少ない実用的なコントロールをもつネステッド分割型 2 因子実験の構成法の開発が挙げられる。さらに、このような分割型 2 因子実験を構成するためには、どのような計画を因子 A, B の計画とし用い得るかの考察が挙げられる。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 5 度の 1 週間程度の 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

〔雑誌論文〕(計 8 件)

(1) Hirao, M., Sawa, M., Jimbo, M. (2015) Constructions of  $p$ -optimal rotatable designs on the ball, *Sankhya - The Indian Journal of Statistics, Ser. A*, 77, 211-236. 査読あり, DOI: 10.1007/s13171-014-0053-4

(2) Kuriki, S., Mejza, I., Ozawa, K., Mejza, S. (2014) Control treatments in designs with split units generated by Latin squares, *Biometrical Letters*, 51, 125-142. 査読あり, DOI:10.2478/bile-2014-0009

(3) Mejza, I., Mejza, S., Kuriki, S. (2014) Two-factor experiment with split units constructed by a BIBRC, *SUT Journal of Mathematics*, 50, 343-352. 査読あり

(4) Lin, Y., Mishima, M., Satoh, J., Jimbo, M. (2014) Optimal equi-difference conflict-avoiding codes of odd length and weight three, *Finite Fields and Their Applications*, 26, 49-68. 査読あり, DOI:10.1016/j.ffa.2013.11.001

(5) Mejza, S., Kuriki, S. (2013) Youden Square with split units, J.L. da Silva et al. (eds.), *Advances in Regression, Survival Analysis, Extreme Values, Markov Processes and Other Statistical Applications*, Studies in Theoretical and Applied Statistics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3-10. 査読あり, DOI:10.1007/978-3-642-34904-1\_1

(6) Kuriki, S., Mejza, I., Mejza, S. (2012) Incomplete split-plot designs supplemented by a single control, *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 41, 2490-2502. 査読あり, DOI:10.1080/03610926.2011.647214

(7) Momihara, K., Mishima, M., Jimbo, M. (2012) A decomposition of the 2-design formed by the planes in  $AG(2n;3)$ , *Finite Field and Their Applications*, 18, 956-970. 査読あり

(8) Wu, D., Fuji-Hara, R., Li, D., Chen, S. (2012) The existence of doubly disjoint  $(mt+1, m, m-1)$  difference families, *Ars Combinatoria*, 104, 197-209. 査読あり

〔学会発表〕(計 16 件)

(1) Ozawa, K., Kuriki, S., Two-factor experiment with split units constructed by cyclic designs and square lattice designs, *Biometrics and communication: From*

statistical theory to perception in the public, 2015年3月16日, Dortmund (Germany)

(2) Jimbo, M., Noguchi, S., Cyclic codes with large minimum distances and related combinatorial designs, ALCOMA15, 2015年3月15日, Kloster Banz (Germany)

(3) 野口 聡, 神保雅一, 最小距離が大きい線形符号と組合せデザイン, 研究集会「代数的デザイン理論とその周辺」, 2015年1月9日, 熊本大学 (熊本県・熊本市)

(4) 藤原良, Classification of Authentication codes and a new model, 研究集会「実験計画法およびその周辺の組合せ構造」, 2014年12月13日, 城崎国際アートセンター (兵庫県・豊岡市)

(5) Ozawa, K., Mejza, I., Mejza, S., Kuriki, S., Repeated Latin and Youden squares with whole plot and subplot control treatments, The International Conference on Trends and Perspectives in Linear Statistical Inference (LinStat2014), 2014年8月24日, Linköping (Sweden)

(6) 鳥居武司, 栗木進二, 分割型ユニットをもつ nested row-column design の構成法, 日本数学会, 2014年3月16日, 学習院大学 (東京都・豊島区)

(7) 鳥居武司, 栗木進二, 分割型ユニットをもつ nested row-column design の構成法, 研究集会「組合せ論とその実験計画への応用」, 2013年11月15日, 三愛高原ホテル (熊本県・阿蘇郡)

(8) 富田峻也, 栗木進二, Strongly balanced uniform repeated measurements designs の巡回的構成法, 研究集会「組合せ論とその実験計画への応用」, 2013年11月13日, 三愛高原ホテル (熊本県・阿蘇郡)

(9) Kuriki, S., Repeated generalized Youden designs with split units, Forum for Interdisciplinary Mathematics 22nd FIM, International Conference on Interdisciplinary Mathematics, Statistics and Computational Techniques, 2013年11月10日, Kitakyushu International Conference Center (福岡県・北九州市)

(10) 鳥居武司, 栗木進二, A regular Youden design を用いた分割型ユニットをもつ nested row-column design の構成法, 日本数学会, 2013年9月27日, 愛媛大学 (愛媛県・松山市)

(11) Kuriki, S., A nested row-column design with split units constructed by a BIBRC, 7th Workshop on Statistics, Mathematics and Computation, 2013年5月29日, Tomar (Portugal)

(12) Lin, Y., Mishima, M., Jimbo, M., Optimal equi-difference conflict-avoiding codes of length  $n=2^a 3^b m$  and weight four, 日本数学会, 2013年3月22日, 京都大学 (京都府・京都市)

(13) 神保雅一, Mutually orthogonal partially balanced t-designs over  $C$ , 研究集会「離散数理論とその応用」, 2012年11月18日, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市)

(14) 藤原良, Descendent Sets and Codes, 研究集会「離散数理論とその応用」, 2012年11月18日, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市)

(15) 石井幸太, 神保雅一, 反応抑制のあるモデルのもとでのグループテストと効率の識別アルゴリズムについて, 統計関連学会連合大会, 2012年9月11日, 北海道大学 (北海道・札幌市)

(16) Lin, Y., Mishima, M., Sato, J., Jimbo, M., Tight equi-difference conflict-avoiding codes with odd length and weight 3, 研究集会「デザイン, 符号, グラフおよびその周辺」, 2012年7月17日, 京都大学 (京都府・京都市)

〔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