

令和 2 年 7 月 14 日現在

機関番号：23702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00053

研究課題名(和文) 遺伝的交配実験における最適計画および構成法に関する研究

研究課題名(英文) Optimality and constructions of genetic cross experiments

研究代表者

小澤 和弘 (Ozawa, Kazuhiro)

岐阜県立看護大学・看護学部・准教授

研究者番号：20336639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：遺伝的交配実験において、各効果を推定する上で最適性を満たすための条件、およびそれら交配実験の構成法を示した。また、コントロール品種とテスト品種の効果を比較するトリアレル交配実験において、各品種の効果を比較する上で最適となる条件を求め、その最適条件を満たす組合せ論的な特徴を見出した。コントロール品種とテスト品種の効果を比較する実験計画において、巡回型計画を用いて構成できる実験計画の効率因子の数理的な特徴、およびそれら実験計画の構成表を示した。分割型計画について、分解可能な実験計画を用いた構成法を与え、それらの効率因子を定式化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

最適基準を満たす必要条件およびその構成法を示すことは、実験計画を利用する上での統計的な裏付けとなり、各分野で実施される実験・試験精度の向上、効率的な実験の実現、および実用範囲の拡大に繋がる。遺伝的交配実験計画は、2要因または3要因を持つ実験計画とみなすこともできるため、本研究の成果は、化学実験や農事試験などで実際に活用されている分割型実験計画など他の実験計画の研究へ活用することが見込める。

研究成果の概要(英文)：In a genetic cross experiment, we gave the conditions of optimality for estimating main effects and interaction effects, and we obtained the constructions of their optimal designs. We applied the constructions of treatment-control designs using cyclic and generalized cyclic designs, and we gave a list of A-efficient treatment-control designs obtained by using a computer programming in the practically useful ranges of the parameters. We gave a construction of incomplete split-plot designs generated by the semi-Kronecker product of two alpha-resolvable designs. Moreover, we characterized their designs with respect to the general balance property, and we gave the stratum efficiency factors for their designs.

研究分野：実験計画法

キーワード：実験計画法 ダイアレル交配実験計画 トリアレル交配実験計画 最適計画 分割型実験計画

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

遺伝子実験や品種改良試験など多くの分野において、遺伝的交配を用いた実験計画(以下、遺伝的交配実験計画とする)の有効性はよく知られており、動植物における交配品種の遺伝的能力、遺伝子組み換えによる遺伝的効果を測定する際などに利用されている。

遺伝的交配実験計画では、ダイアレル交配実験計画やトリアレル交配実験計画などが知られている。また、動植物の交配効果のタイプに応じて、遺伝的交配実験は4種類の遺伝的交配タイプに分類される。これら実験の目的は、品種自体の遺伝子による能力(以下、主効果とする)、品種間の交配による相乗的な能力(以下、交互作用効果とする)を高精度で推定することである。

ダイアレル交配実験計画では、主効果と交互作用効果を推定する際に、A最適、D最適、E最適など一般的に知られている最適基準をすべて満たす一般的最適となる必要条件が与えられており、その最適な実験計画が釣合い型不完備ブロック計画やTriangular計画で構成できることが示されていた。トリアレル交配実験計画では、主効果の推定に関して最適となる実験計画の最適性と構成法が示されているが、各遺伝的交配タイプにおける最適性、交互作用効果の最適性や構成法については未解決の問題が残されていた。

また、実際に遺伝的交配実験計画を使用して品種改良試験や遺伝子実験を行う施設では、各効果の推定精度を実用範囲内に担保しつつ、費用、時間、労力を軽減できるような、効率的かつ実用的な実験計画が求められていた。さらに、ある程度効果が知られている既存品種(コントロール品種)と新品種(テスト品種)の効果を比較する実験計画の研究も行われているが、トリアレル交配実験計画等における最適性および構成法に関する未解決の問題が残されていた。

2. 研究の目的

遺伝的交配実験計画や関連する実験計画において、主効果と交互作用効果を推定する際に、一般的に知られている最適基準を満たす遺伝的交配実験の統計学的な条件や特徴を明らかにする。それら最適基準を満たす遺伝的交配実験計画の構成法の開発、および実践者が使用するための実用的な構成表を構築する。

また、コントロール品種とテスト品種の効果を比較する実験計画における最適性、およびそれら最適基準を満たす実験の構成法を導出する。

3. 研究の方法

遺伝的交配実験計画において、一般化最小二乗法による各効果の推定が一般的に知られている最適基準を満たす統計学的な条件について、既知の結果およびシミュレーションを活用しながら関係性を見出す。また、それら条件を満たす交配実験計画について、組合せ論の見地から数理的に構成法を導出する。

コントロール品種とテスト品種を持つ実験計画において、一般化最小二乗法を用いて既存品種とテスト品種の効果の差を推定する際に、実験における情報行列の逆行列の対角成分を最小化するなどの最適基準を満たす条件を解明する。また、各処理が使用される回数が一定である既知の実験計画を活用し、最適基準を満たす構成法や構成例を示す。

他分野における実験方法への応用範囲の拡張を視野に入れ、遺伝的交配実験計画を有効に活用できる応用分野の可能性を探求する。

4. 研究成果

ダイアレル交配実験計画のうち交配の一部のみを実験する遺伝的交配実験計画について、主効果および交互作用効果の推定に関して分散が一定となる統計学的な条件を導出した。また、コントロール品種とテスト品種の効果を比較するトリアレル交配実験において、一般化最小二乗法を使用して各品種の効果を比較するうえで最適となる統計学的な条件を与え、シミュレーションによる検証を実施した。さらに、その最適条件を満たす組合せ論的な特徴から partially balanced incomplete block designを用いた最適なトリアレル交配実験の構成法を導出した。これらの成果については、国際的な学術誌への投稿に向けて現在準備中である。

コントロール品種とテスト品種の効果を比較する treatment-control 計画について、A-efficient cyclic designまたはA-efficient generalized cyclic designを用いて構成できるA-efficientな treatment-control 計画を導出した。具体的には、A-efficient cyclic designまたはA-efficient generalized cyclic designにテスト品種を割り当て、それらの計画にコントロール品種を追加する構成法やA-efficient cyclic designまたはA-efficient generalized cyclic designの一つの品種をコントロール品種、その他をテスト品種として割り当てる構成法、およびそれらの複合的な構成法を与えた。また、そのA-efficientな treatment-control 計画におけるコントロール品種とテスト品種の差に関する分散の総和を定式化した。さらに、John(1987)およびHall and Jarrett(1981)に掲載されているA-efficient cyclic designおよびA-efficient generalized cyclic designを用いてコンピュータによる探索を行い、効率の高い440個のA-efficient treatment-control 計画を発見してリスト化し、実際に実験に活用できる詳細な構成法を示した。これらの成果については、国際的な学術集会において発表し、国際的な学術誌に掲載された。

2要因を持つ分割型実験計画について、whole-plotの処理として $\frac{1}{2}$ -resolvable 計画、subplotにaffine $\frac{1}{2}$ -resolvable 計画を用いて semi-Kronecker product (Khat ri-Rao product) で得ら

れる分割型実験計画の構成法を与えた。また、それら分割型実験計画の generally balanced の性質および効率因子を示した。本成果については、国際的な学術誌に掲載された。

3 要因を持つ分割型実験計画について、1 段階目の要因に resolvable 計画、2 段階目および 3 段階目の要因に正方格子計画を用い、semi-Kronecker product を行うことで得られる構成法を与え、それら分割型実験計画の generally balanced の性質および効率因子を一般的に求めた。本成果については、国際的な学術誌への投稿に向けて現在準備中であり、さらに各要因に対してより一般化した resolvable 計画を使用する構成法および統計的性質の解明が可能であると考えられる。また、split-block 計画について、affine -resolvable 計画を用いて generally balanced の性質を満たす構成法および効果の推定に利用される効率因子を求めた。本成果については、国際的な学術誌に掲載された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yamada Kohei, Mishima Miwako, Satoh Junya, Jimbo Masakazu	4. 巻 56
2. 論文標題 Multifold factorizations of cyclic groups into subsets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Finite Fields and Their Applications	6. 最初と最後の頁 131-149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ffa.2018.11.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kazuhiro Ozawa, Iwona Mejza, Shinji Kuriki, Stanislaw Mejza	4. 巻 16 (3)
2. 論文標題 Two-factor experiments with split units constructed by cyclic designs and square lattice designs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 REVSTAT	6. 最初と最後の頁 279-294
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Kazuhiro Ozawa, Shinji Kuriki, Stanislaw Mejza	4. 巻 54
2. 論文標題 Incomplete split-block designs constructed by affine t -resolvable designs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Biometrical Letters	6. 最初と最後の頁 123-135
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/bile-2017-0007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Miwako Mishima, Koji Momihara	4. 巻 340
2. 論文標題 A new series of optimal tight conflict-avoiding codes of weight 3	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 617-629
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.disc.2016.12.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuhiro Ozawa, Shinji Kuriki, Stanislaw Mejza	4. 巻 53(2)
2. 論文標題 Use of t -resolvable designs in the construction of two-factor experiments of split-plot type	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Biometrical Letters	6. 最初と最後の頁 105-118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/bile-2016-0008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計5件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Kazuhiro Ozawa, Shinji Kuriki
2. 発表標題 A list of A-efficient treatment-control designs
3. 学会等名 64. Biometrisches Kolloquium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kohei Yamada, Miwako Mishima, Junya Satoh, Masakazu Jimbo
2. 発表標題 On multifold factorizations of cyclic groups into subsets
3. 学会等名 The 5th Taiwan-Japan Conference on Combinatorics and its Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiro Ozawa, Shinji Kuriki
2. 発表標題 On A-efficient treatment-control designs constructed by generalized cyclic designs
3. 学会等名 Design and Analysis of Experiments 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuhiro Ozawa, Shinji Kuriki
2. 発表標題 On A-efficient treatment-control designs
3. 学会等名 The 2017 IAENG International Conference on Operations Research (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田紘頌, 三嶋美和子, 佐藤潤也, 神保雅一
2. 発表標題 Multifold factorizations of cyclic groups into subsets
3. 学会等名 離散数学とその応用研究集会2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	三嶋 美和子 (Mishima Miwako) (00283284)	岐阜大学・工学部・教授 (13701)	