

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：21201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350448

研究課題名(和文) 種畜の交配モデルと組合せ最適化手法の開発

研究課題名(英文) Development of breeding model and optimization technique

研究代表者

岡本 東 (Okamoto, Azuma)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・准教授

研究者番号：10305310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：畜産業における種畜の交配計画を作成するための、モデルおよび組合せ最適化手法の開発を行った。交配計画は、複数の能力の最大化と近交係数の最小化を含む多目的組合せ最適化問題となる。まず、種豚の交配を例に、これまで用いられてきた手法とシステム化の成果を整理した。次に、種豚の交配支援システム用を開発し、長期に渡る最適化とその課題を明らかにした。これに対して、現実的な時間で演算可能な世代数で解を求め、徐々に世代数を拡大する方法を示した。

研究成果の概要(英文)：A model and an optimization technique for making mating plan of breeding stock in the livestock industry were developed. The mating plan can be defined as a multiobjective optimization problem including maximization of multiple ability and minimization of inbreeding coefficient. First, techniques and results of existing system were arranged referring to mating of swine. Next, a swine mating support system was developed, and long term optimization and its problem were clarified. For this problem, a solution method was shown. The method solves several number of generations in realistic time, and expands number of generations gradually.

研究分野：情報システム

キーワード：OR 交配計画 最適化問題 多目的最適化問題 情報システム

1. 研究開始当初の背景

(1) 畜産物全体の価値を高めるためには、種畜の交配により能力を向上させることが有効である。豚の場合、雑種強勢により優れた肉質と繁殖力等の形質を得るため、複数の原種豚の交配を行った交雑種が用いられる。ここで、雑種強勢によって得られる優れた形質は一代限りであるため、交雑種は能力の向上を目的とした交配を行わない。つまり、能力の向上を目的とした交配については、種畜である原種のみが対象となる。

(2) 交配計画を組合せ最適化問題として捉えると、複数の能力の最大化と近交係数の最小化を含む多目的組合せ最適化問題となる。交配計画では、近交退化と呼ばれる先天性異常の発生を防ぐため、近親交配を避ける必要があり、これは近交係数として定量的に表される。一般に、能力のみを考慮して交配を行うと能力の高い個体のみが選抜され、これらの個体の交配を続けると近交係数が高くなる。つまり、能力と近交係数はトレードオフの関係にあり、これらを考慮した組合せの決定が必要となる。

2. 研究の目的

(1) 種畜の世代交代を表現するために適切な個体および交配のモデルを作成する。このモデルを元に、組合せ最適化問題として定式化する。以下、これを交配計画問題と呼ぶ。各種育種価の最大化や近交係数の最小化等の多目的最適化問題となるが、目的関数をどの程度集約し減少させることができるかを検証する。

(2) 交配計画問題について、最適解を求めるための手法を開発する。どの問題規模まで現実的に適用可能かを検証する。

(3) メタ戦略によって準最適解を求める最適化手法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 種畜の中でも特に種豚についての調査を行う。後述のモデルを作成する上で最低限必要なデータは、産子数(平均および分布)・種豚の選抜数および選抜方法・交配および出産の周期等である。

(2) 調査を元に、種豚の交配・出産から次の種豚の選抜までの世代交代をモデル化する。作成した世代交代モデルの妥当性を検証する。

(3) 世代交代モデルに基づき、各世代の近交係数の最小化や各種育種価の最大化等の目的関数を設定し、交配計画における組合せの選択について多目的組合せ最適化問題として定式化する。

4. 研究成果

(1) 種豚のライフサイクル: 図1に種豚を中心とした豚のライフサイクルを示す。交配後114日で出生し、その後240日で交配可能となる。つまり、前回の交配から約1年後に次

世代の交配が可能となる。繁殖期に入った豚は、年に約2回交配が可能で、3から4年間繰り返される。



図1 豚の飼育期 (文献[1]を元に作成)

(2) データ構造 (交配計画モデル): 表1は、交配計画に用いる表を模式化したものである。これは、雄個体数 m 、雌個体数 n (一般に $n = dm, d > 1$) のとき雄個体群 $\{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ と雌個体群 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ の交配の組合せを決定するためのものである。従来は、このような表の各セルに交配した場合の近交係数を記入し、雄雌の数のバランスを考慮しながら手作業で選択していた。雄:雌は1:多の関係にあるため、組合せは雌ごとに対になる雄を選択する形になる。例えば F_1 については、破線で囲んだ部分から1つを選ぶことになる。この様な組合せ最適化問題を遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm; GA) 等の手法によって解く場合の染色体設計の例を図2に示す。図中 (1) に示すような組合せを表現する際には、(2) に示すように雌に対応する遺伝子座を設け、雄に対応する対立遺伝子によって組合せを表現する。

表1 交配計画表

	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	...	M_m
F_1		○						
F_2					○			
F_3	○							
F_4			○					
F_5						○		
F_6					○			
F_7		○						
F_8								
F_9								
⋮								
F_n								

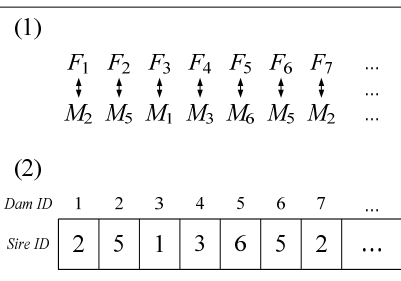


図2 GAを適用する際の染色体設計

(3) メタ戦略による解法について：雄 1 に対して雌が定数 d (d は正の整数) を割り当て、雄によって割り当てがなかったり多数割り当てたりといったことは一般に行われていない。これを再現するためには、演算 (GA であれば交叉や突然変異) 中に染色体中にある同種の遺伝子の数が変化しないようにしなければならない。このためには、順序一致交叉 (partially matched crossover; PMX)[2] をはじめとする順序表現の GA のために開発された手法を応用することが考えられる。図 3 に、この染色体へ PMX を用いる場合の手順を示す。2 つの染色体を取り出し (1), 同じ雄を示す数値に適切なサフィックス (ここでは a, b) を付ける (2)。あとは通常の PMX 同様の手順となる。まず、染色体の一部を選択して入れ替える (3)。ここで、入れ替え部分より「3a 2a」「1b 4a」「2a 4b」の関係リストが得られ、これらのうち 1 番目と 3 番目は「3a 2a 4b」つまり「3a 4b」となる。これらの関係リストに含まれないものはそのまま残し (4)、含まれるものはその関係に従って入れ替える (5)。最後にサフィックスを除去する (6)。

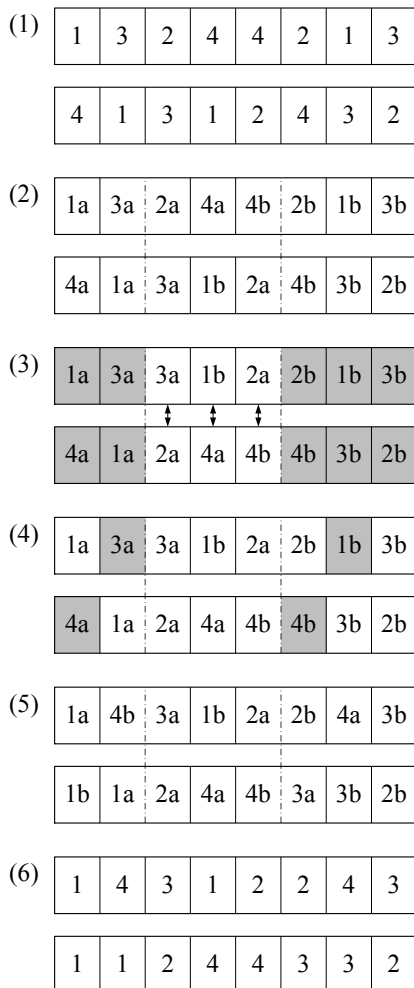


図 3 PMX の適用

(3) 複数世代の解法について：一世代分の近交係数計算の自動化と、その結果に基づく割

当によって、実用的な成果が得られている。このシステムでは、近交係数の個別値とあらゆる組合せをした場合の合計値を利用し、雄は合計値を主に考慮する。雌は個別値の低い個体を優先し、次いで合計値の高い個体を優先する。しかし、このようなシステムで用いられているような経験に基づくヒューリスティックは、予期していないような不適切な解は出力されないものの、多世代に渡る最適性は保障されていない。仮に、雄 1 に対する雌の数の制限を設けないものとする。このとき、全体の中で雄 1 個体のみが外部から導入した血縁関係のないもので、残りの個体がすべて弱い血縁関係にある場合、近交係数のみで最適化すると、すべての雌を 1 個体の雄と交配するのが最適解となってしまふ。また、その雄が育種価も高い場合、近交係数・育種価の多目的問題と捉えても同様な最適解となる。しかし、実際にはこのような交配を行った場合、自明であるが、すべての子の父が同一となるため、その次の世代で近交係数は非常に大きくなることを避けられない。つまり、雄 1 に対して雌の数を決めることは、実運用上の制約や計算量の低減の効果の他に、一世代分の計算しかしていないにも関わらず、その一世代分の最適化により後の世代に与える悪影響を未然に防いでいると言える。ここで、計算機の高速化・大容量化を活かし、複数世代に渡る最適化を行うことが考えられる。しかし、雄個体数 m 、雌個体数 n 、世代数 g とすると、特に制約を設けなければ、交配の組合せだけで m^{gn} 通りとなり、世代数が計算量に大きな影響を与える。また、ラウンドロビンなどのルールを用いなければ、どの組合せから雄を残すかなどの決定も必要であり、これは $(n! / (m!(n-m)!))^g$ 程度の計算量となり、同様に世代数の影響が大きい。しかしながら、何世代目まで計算すれば解として十分であるかを示す指針はない。ここで、直前・直後の世代間は依存関係が強く、離れた世代は依存関係が弱いことを考慮し、以下のような手順で計算を行う。

- 1) Prepare initial sires
 $\mathbf{M}_0 = \{ M_1, M_2, \dots, M_m \}$
 and dams
 $\mathbf{F}_0 = \{ F_1, F_2, \dots, F_n \}$.
- 2) Set generation counter $i = 1$.
- 3) Create children candidate
 $\mathbf{C}_0 = \{ (x, y) \mid x \in \mathbf{M}_0, y \in \mathbf{F}_0, IC(x, y) \leq T \}$.
 IC is inbreeding coefficient function and T is maximum acceptable inbreeding coefficient value.
- 4) Set generation counter $j = i$.
- 5) Create next generation children candidate
 $\mathbf{C}_j = \{ (x, y) \mid x, y \in \mathbf{C}_{j-1}, IC(x, y) \leq T \}$.
 In this step, (x, y) and (y, x) are considered identical.
- 6) if $|\mathbf{C}_j|$ is enough small to try next generation, increment j and repeat step 5).
- 7) Set generation counter $k = j$.

- 8) Select elite c_k^* C_k considering both inbreeding coefficient value and breeding value.
- 9) Add c_k^* to set C_k^* and remove c_k^* from C_k .
- 10) If $k > i$, add elites' ancestors $\{x \mid (x, y) \in C_k^*\} \cup \{y \mid (x, y) \in C_k^*\}$ to C_{k-1}^* .
- 11) Decrease k and repeat step 10).
- 12) If $|C_i^*|$ is not enough number of individuals to breed, repeat step 7).
- 13) Optimization in a generation as previous section using C_i^* .
Results are M_i , F_i , and C_i .
- 14) If need more generations, increase i and repeat from step 3).

(2)研究分担者

(3)連携研究者

<引用文献>

- [1] 古郡 浩：“豚の一生と生理的特性”，農業技術大系，畜産編 4，豚，社団法人農山漁村文化協会，pp.27-57, 1997.
- [2] (社)電気学会 進化技術応用調査専門委員会 編：「進化技術ハンドブック，第I巻基礎編」，近代科学社，2010.

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0件)

〔学会発表〕(計3件)

岡本 東, 菅原光政: 生産スケジューリングのための遺伝的アルゴリズムにおける順列表現, 平成 25 年度日本設備管理学会春季研究発表大会論文集, pp.63-68, 2013.

岡本 東, 菅原光政: 種畜交配計画支援のための情報システム, 平成 26 年度日本設備管理学会秋季研究発表大会論文集, pp.101-104, 2014.

Okamoto, A.: “Optimization technique for long-term breeding programs”, *The 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2015)*, CD-ROM, #211, 2015.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

取得状況 (計0件)

6．研究組織

(1)研究代表者

岡本 東 (OKAMOTO, Azuma)
岩手県立大学・ソフトウェア情報学部
・准教授

研究者番号：2 5 3 5 0 4 4 8