

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：10105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05886

研究課題名(和文) 集団ゲノミクスを用いた鶏卵成分に関するゲノム基盤の解明

研究課題名(英文) Genetic basis of egg component traits in chickens using population genomics approach

研究代表者

後藤 達彦 (Goto, Tatsuhiko)

帯広畜産大学・畜産学部・准教授

研究者番号：30619391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ダルマチャボおよびトサジドリの交配に基づく分離世代の雌226個体から血液ならびに、卵黄アミノ酸などの表現型データを収集した。DNAを抽出し、RAD-seqにより24,000を超える多型情報を取得した。ゲノムワイド関連解析の結果、14の遺伝子座を発見できた。卵重、卵サイズ、卵殻色、卵白重に関する12の遺伝子座を、第1、2、5、7、15、20、21染色体上に検出した。卵黄アルギニンおよび卵黄フェニルアラニン含量に関する遺伝子座を第2、9染色体上に検出した。今後も遺伝的マッピング研究を行うことで、卵のアミノ酸成分を調節可能な遺伝的基盤の理解を進め、ゲノム情報を活用した地鶏の遺伝的改良に繋げたい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界の食料危機の打破を目指した遺伝学研究は、畜産学の最重要課題の一つである。本課題では、広く食利用可能な鶏卵に注目し、卵の成分を自在に調節可能なゲノム基盤の解明を目指した。高い多様性を誇る日本鶏資源を活用し、高栄養の卵生産に関わるゲノム基盤を解明することで、将来、世界の多様なニワトリへの応用を目指している。鶏卵サイズなどを調節する遺伝子座に加えて、卵黄アミノ酸含量に関わる遺伝子座を発見することができた。これらのゲノム基盤に着目したさらなる研究によって、鶏卵サイズや鶏卵成分を高める遺伝的な改良に繋がれば、畜産物の品質および生産性の向上に貢献できるため、その学術的意義や社会的意義は高い。

研究成果の概要(英文)：Blood samples and phenotypic data of egg weight, yolk amino acid traits and so on were collected from the segregating population (226 females) of an intercross population between Darumachabo and Tosa-jidori chickens. DNA samples were analyzed via RAD-seq and then more than 24,000 genetic variants were genotyped. As a result of genome-wide association study (GWAS), 14 quantitative trait loci (QTLs) were identified. Of them, 12 QTLs affecting egg weight, egg size, eggshell color, albumen weight were found on chromosomes 1, 2, 5, 7, 15, 20, and 21. Two QTLs for yolk arginine and yolk phenylalanine were discovered on chromosomes 2 and 9. By conducting genetic mapping with many segregating individuals, genetic architecture underlying egg amino acid traits would be understood and then QTL information accumulated would be applied into future breeding of Jidori chickens.

研究分野：動物遺伝育種学

キーワード：集団ゲノミクス 遺伝的マッピング 日本鶏 卵成分 ゲノム 卵黄アミノ酸 分離世代 ニワトリ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

養鶏産業の産卵鶏は、冷涼な環境で高い産卵性を示すものの、世界各地の様々な環境に万能に適應できる訳ではない。その一方で、世界各地の気候風土に適應した多様なニワトリ品種が存在する。2050年には、90億人分の食料を生産しなければならない(Godfray et al., 2010 Science 327: 812-818)という世界の食料危機を緩和しながら、かつ持続可能な農業を実現するためには、これらの遺伝資源の有効活用が求められる。鶏卵成分に与える遺伝要因の研究は不足しているが、鶏卵のさらなる高栄養化に関わるゲノム基盤の理解が実現できれば、将来、高栄養の鶏卵生産により、世界の飢餓の緩和に貢献できると考えられる。

世界の9人に1人が飢餓という食料危機の打破を目指した研究は、畜産学の最重要課題である。卵の品質に関わるゲノム基盤の研究は、世界の様々な研究チームによって活発に行われているが、卵の重量やサイズに着目した研究が多く(Goto and Tsudzuki, 2017 J Poult Sci 54: 1-12) アミノ酸など特定の栄養素の含有量を高めることを目指す研究はほとんどない。日本鶏資源を有効活用し、世界の多様なニワトリ品種に応用可能な「高栄養の卵生産に関わるゲノム基盤」を明らかにし、世界の食料危機の緩和に向けた応用を目指す研究は、学術的独自性および創造性が高い。

卵のアミノ酸に関わる遺伝要因については、研究代表者らが世界に先駆けて報告し(Mori et al., 2020 Poult Sci 99: 172-178) これまでに日本鶏10品種以上を用いて、卵アミノ酸含量の多様性を解析した結果、ほとんどのアミノ酸形質において有意な遺伝的背景の効果が認められ、卵黄および卵白のアミノ酸含量は無相関であることを見出している(Goto et al., 2021 Sci Rep 11: 2270; Anim Sci J 92: e13510)。本研究でそれらのゲノム基盤を解明できれば、アミノ酸含量およびバランスを卵黄および卵白それぞれ別々に制御することができると予想される。

近年、集団ゲノミクスを用いたいくつかの成功例がある。すなわち、集団ゲノミクスと古典的な連鎖解析の手法の組み合わせ(Li et al. 2020 Mol Biol Evol 37: 2477-2486)によって、迅速に候補遺伝子群を同定後、効果の検証を済ませるものである。日本オリジナルの遺伝資源を用いて上記の研究を遂行すれば、諸外国の研究では明らかにできない、畜産物の品質に関わるゲノム基盤を解明できると考えられる(Goto and Tsudzuki, 2017 J Poult Sci 54: 1-12)。多様なニワトリ品種を用いた卵成分のゲノム基盤研究を例にして、生物が示す量的形質を調節する原因遺伝子群を発見するためのパイプラインを示すことができれば、様々な生物種が示す基礎的知見の発見にも応用可能になる。

2. 研究の目的

畜産物の品質を調節するゲノム変異はどのようなものか?という学術的な問いに答えるために、多様な日本鶏品種を用いた集団ゲノミクスおよび品種間の分離集団を用いた関連解析により、『卵のアミノ酸成分を自在に調節可能なゲノム基盤を明らかにすること』を本研究の目的とする。

3. 研究の方法

トサジドリ8個体およびダルマチャボ6個体から採血を行い、DNA抽出ならびに次世代シーケンシングによる全ゲノム解析を行った。セキショクヤケイ6個体の全ゲノムデータ(Ulfah et al., 2016; Hou et al., 2020)をダウンロードして解析に用いた。ニワトリ参照ゲノム配列(GRCg6a; Galgal6)にマッピングし、それぞれの個体が保有する遺伝的変異箇所の遺伝子型情報を取得した。ニワトリ全ゲノム配列(約10億塩基対)を、20,000塩基対(20 kb)ごとのウィンドウに分割し、10 kbずつスライドさせたウィンドウを対象に、ゲノムを比較した。ダルマチャボ6個体およびトサジドリ8個体を用いて、品種集団間のSNPsにおける違いが各染色体上においてどのように分布しているのかを、遺伝的分化の程度を示すFst値により示した。さらに、本研究ではダルマチャボ特有の遺伝的分化を明らかにするため、ダルマチャボ6個体およびトサジドリ8個体に加え、ニワトリの野生原種であるセキショクヤケイ6個体の計3集団を用いて、PBE値を算出した(Yassin et al., 2016)。PBE値は、3つのFst値(トサジドリおよびダルマチャボのFst値、ダルマチャボおよびセキショクヤケイのFst値ならびに、トサジドリおよびセキショクヤケイのFst値)から算出され、3品種の遺伝的分化の程度を比較することができる。PBEが著しく大きな正の値である場合、ダルマチャボのみが他の2集団と比較してSNPsの遺伝子型が大きく異なることを示すため、PBE値が著しく高い正の値を取るウィンドウに注目した。集団ゲノミクスによって、ダルマチャボ特異的ゲノム領域の同定を試みた。

ダルマチャボおよびトサジドリの日本鶏 2 品種を基にした分離世代の雌 226 個体を対象に、卵サイズなどの 10 種類の卵形質ならびに、卵黄アミノ酸形質の表現型データを解析した。また、分離集団の全個体から血液サンプルを採取し、個体別に DNA を抽出した。次世代シーケンサーを用いた RAD-seq (Restriction-site Associated DNA Sequencing) によって、ゲノム全体に分布する制限酵素サイト周辺の DNA 配列の解析を行った。ニワトリ参照ゲノム配列 (GRCg6a; Galgal6) にマッピングすることによって、多数の遺伝的変異箇所の遺伝子型情報を得た。

分離世代の鶏卵サンプルから、卵重、卵長径、卵短径、卵殻色(L*値、a*値、b*値)、卵殻重、卵殻厚、卵黄重、卵白重の 10 形質を測定後、卵黄および卵白サンプルを凍結保存した。卵黄サンプルを凍結乾燥し、10 mg の卵黄を対象にアミノ酸分析の前処理を行った。LC-MS/MS を用いた卵黄の成分分析を行い、フェニルアラニン、トリプトファン、ロイシン、イソロイシン、リジン、ヒスチジンなどの卵黄アミノ酸含量の測定を行い、表現型データの収集を行った。

その後、表現型および遺伝子型情報を基にしてゲノムワイド関連解析を行った。すなわち、遺伝的変異箇所のそれぞれにおいて、分離集団の 226 個体をダルマチャボ由来のホモ型、トサジドリ由来のホモ型、両親由来のヘテロ型の 3 つの遺伝子型グループに分類し、鶏卵のアミノ酸含量等の表現型への遺伝子型グループの効果を検定した。例えば、第一染色体の SNP 001 の遺伝子型グループにおいて、鶏卵成分が大きく異なることが分かれば、当該 SNP 001 周辺に鶏卵成分を調節する遺伝子座(QTL)が存在することを示す。この解析をゲノム全体に分布する遺伝的変異に対して行う、ゲノムワイド関連解析を行った。

4 . 研究成果

全ゲノム解析によって、20 個体の平均ゲノムカバレッジが 6.4 倍のデータを取得した。マッピングの結果、約 1,190 万の一塩基多型(SNPs)を検出した。第 1~33 染色体を対象に、20 kb ウィンドウ内の SNPs が 30 箇所以上ある総計 80,266 ウィンドウを解析した。各ウィンドウ内に存在する SNPs は平均 148、最小 30 ならびに最大 876 であった。ダルマチャボ特異的なゲノム配列を持つ候補領域に焦点をあてた集団ゲノミクスによって、第 1、2、3、4、5、6、10、11、13 および 15 染色体において高い PBE 値を示す領域が検出され、その数は 81 箇所であり、44 の候補領域に集約することができた。集団ゲノミクスにより検出されたダルマチャボ特異的なゲノム領域には、計 40 個の遺伝子が存在していた。

ダルマチャボおよびトサジドリの交配に基づく分離世代の雌 226 個体から、卵重、卵殻色、卵白重などの卵形質ならびに、卵黄アミノ酸形質の表現型データを収集した。血液サンプルから DNA を抽出し、次世代シーケンサーを用いた RAD-seq により 24,000 を超える一塩基多型(SNPs)情報を取得した。ゲノムワイド関連解析の結果、14 の遺伝子座(QTLs)を発見することができた。卵重に関与する遺伝子座は第 1、2、7、15、21 染色体上に、卵サイズに関与する遺伝子座は第 1、2、5 染色体上に、卵白重に関与する遺伝子座は第 1、2、21 染色体上に、卵殻色に関与する遺伝子座は第 20 染色体上に検出された。これに加えて、卵黄アルギニン含量に関与する遺伝子座を第 2 染色体上に、卵黄フェニルアラニン含量に関与する遺伝子座を第 9 染色体上に検出した。今後も、分離世代の個体数を増加させた遺伝的マッピング研究を進めていくことで、未だ発見できていない遺伝子座を見つけていきたい。

本研究での集団ゲノミクスおよびゲノムワイド関連解析によって、第 1、2 および 15 染色体が共通して、その重要性が示された。今後、それぞれの解析に供する個体数をさらに増加させ、それぞれの結果を洗練することによって、品種特異的なゲノム領域がどのように卵のアミノ酸成分を調節しているのかの遺伝的基盤の理解を進めていきたい。将来、ゲノム情報を活用した世界の“地鶏”の遺伝的改良に応用できるような、基礎的知見の蓄積を進めていきたい。

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 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nishimura Kenji, Ijiri Daichi, Shimamoto Saki, Takaya Masahiro, Ohtsuka Akira, Goto Tatsuhiko	4. 巻 16
2. 論文標題 Genetic effect on free amino acid contents of egg yolk and albumen using five different chicken genotypes under floor rearing system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0258506
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0258506	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 -
1. 著者名 Goto Tatsuhiko, Ohya Kosei, Takaya Masahiro	4. 巻 101
2. 論文標題 Genotype affects free amino acids of egg yolk and albumen in Japanese indigenous breeds and commercial Brown layer chickens	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Poultry Science	6. 最初と最後の頁 101582
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.psj.2021.101582	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 -
1. 著者名 KONDOH Daisuke, ONO Ryoko, YANAGAWA Masashi, GOTO Tatsuhiko	4. 巻 84
2. 論文標題 Morphological variations of caudal skeleton between three chicken breeds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Veterinary Medical Science	6. 最初と最後の頁 1225 ~ 1229
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1292/jvms.22-0174	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 -
1. 著者名 Kawamura Nonoka, Yokoyama Reo, Takaya Masahiro, Ono Ryoko, Goto Tatsuhiko	4. 巻 60
2. 論文標題 Combined Effect of Feed and Housing System Affects Free Amino Acid Content of Egg Yolk and Albumen in Brown Layer Chickens	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Poultry Science	6. 最初と最後の頁 jpsa.2023007
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2141/jpsa.2023007	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 -

1. 著者名 Kawamura Nonoka, Takaya Masahiro, Hayashi Hideaki, Goto Tatsuhiko	4. 巻 13
2. 論文標題 Housing Systems Affect Eggshell Lightness and Free Amino Acid Contents of Egg Albumen in Tosa-Jidori Chickens: A Preliminary Research	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Animals	6. 最初と最後の頁 1837
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ani13111837	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 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 T. Goto
2. 発表標題 Mapping quantitative trait loci for egg traits using several Japanese indigenous chickens.
3. 学会等名 Plant and Animal Genome Conference Asia (PAG ASIA 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Goto, R. Ono, M. Watanabe, AKM Ahmed, H. Usui
2. 発表標題 Establishment of genetic mapping population based on crosses of Japanese indigenous chickens.
3. 学会等名 The 19th Asian-Australasian Association of Animal Production (AAAP) Animal Science Congress (2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Kawamura, K. Rikimaru, S. Fukuda, K. Hagiya, T. Goto
2. 発表標題 Heritability estimates of egg traits and yolk amino acid traits in Hinaidori chickens.
3. 学会等名 The 19th Asian-Australasian Association of Animal Production (AAAP) Animal Science Congress (2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Kawamura, K. Rikimaru, S. Fukuda, K. Hagiya, T. Goto
2. 発表標題 Genetic parameter estimates for size, weight, color, and amino acid of egg in Hinaidori chickens.
3. 学会等名 The 130th Annual Meeting of the Japanese Society of Animal Science
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤達彦、大野涼子、渡邊萌々佳、AKM Ahmed、白井陽衣、P Nyirimana、近藤大輔
2. 発表標題 ニワトリの形態、行動、卵形質に関わる遺伝子座マッピングの試み
3. 学会等名 第46回鳥類内分泌研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤達彦
2. 発表標題 特徴的な鶏卵生産に関わる遺伝および環境要因
3. 学会等名 帯広畜産大学産学連携センター 公開セミナー 未利用資源活用セミナー「畜産・水産物における未利用資源活用の取り組み」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Goto, S. Fukuda, K. Rikimaru, R. A. Lawal, J. Pool, O. Hanotte.
2. 発表標題 Genomic signatures of selection for egg production rate using whole genome sequence in Hinaidori chickens.
3. 学会等名 38th International Society for Animal Genetics Conference (ISAG 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤達彦、力丸宗弘、福田菜、Raman Akinyanju Lawal、John Pool、Olivier Hanotte
2. 発表標題 集団ゲノミクスを用いたヒナイドリの産卵率に関わる遺伝子群の探索
3. 学会等名 日本畜産学会第129回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤達彦、高谷政宏、福田 菜、大野涼子
2. 発表標題 ヒナイドリおよびロードアイランドレッドを用いた卵黄および卵白の遊離 アミノ酸含量の比較
3. 学会等名 日本家禽学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷 暢、堀之内正次郎、関口 敏、石丸桃佳、後藤達彦
2. 発表標題 ジトッコが示す毛冠の表現型とHOXC10の構造多型との関連
3. 学会等名 日本動物遺伝育種学会第22回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤達彦
2. 発表標題 鶏卵の遊離アミノ酸に関わる遺伝および環境要因の探索
3. 学会等名 日本家禽学会2022年度春季大会 公開シンポジウム「家禽サイエンスの飛躍と深化を目指して」 テーマ2「鶏卵のメタボロミクス」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川村野乃花、力丸宗弘、福田菜、萩谷功一、後藤達彦
2. 発表標題 ヒナイドリにおける産卵率および卵形質の遺伝率推定
3. 学会等名 日本家禽学会2022年度春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤達彦、西村健志、高谷政宏
2. 発表標題 様々な鶏種が生産する卵黄の遊離アミノ酸含量の比較
3. 学会等名 日本家禽学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村野乃花、高谷政宏、林 英明、小口莉奈、大野涼子、後藤達彦
2. 発表標題 パタリーケージおよび平飼いの飼育形態における鶏卵成分への影響
3. 学会等名 日本家禽学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小口莉奈、川村野乃花、大野涼子、高谷政宏、後藤達彦
2. 発表標題 卵アミノ酸形質における様々な品種および飼料の効果
3. 学会等名 日本家禽学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤達彦、森 大輝、塩田駿介、友永省三
2. 発表標題 卵黄および卵白のメタボローム解析から得られた品種および飼料の効果
3. 学会等名 日本畜産学会第128回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村野乃花、横山領央、高谷政宏、大野涼子、後藤達彦
2. 発表標題 バタリーケージおよび平飼いの生産方式の違いによる鶏卵の遊離アミノ酸成分への影響
3. 学会等名 日本畜産学会第128回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村野乃花、高谷政宏、後藤達彦
2. 発表標題 ケージおよび平飼いの飼育形態における名古屋種の鶏卵成分への影響
3. 学会等名 日本家禽学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤達彦
2. 発表標題 とがちで学ぶニワトリのはなし
3. 学会等名 帯広百年記念館博物館講座（招待講演）
4. 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------