

ニワトリの卵および成長形質を支配する遺伝的基盤の解明

後藤 達彦（帯広畜産大学グローバルアグロメディシン研究センター）

tats.goto@obihiro.ac.jp

はじめに

ニワトリは世界の飼育個体数が群を抜いて1位の家畜であり¹⁾、世界中の様々な環境に適応している柔軟な家畜である。現在、世界の9人に1人が飢餓の状況にあり²⁾、このような世界の食料危機を緩和するためには、既に世界の様々な気候風土に適応している多様な家畜品種を有効活用し、誰もが利用可能な畜産物を増産する技術が重要になると考えられる。食のタブーが少ないことから、世界の人々への動物性タンパク質の提供者として大きな潜在能力をもつニワトリを対象に、遺伝的な違いがどのように卵形質や成長形質に影響を与えるのかを明らかにするための研究を行ってきた。

卵および成長形質に関わる遺伝子座の解明

日本鶏品種の代表格である大シャモを利用した大規模なF₂家系を用いた量的形質遺伝子座 (Quantitative Trait Loci: QTL) 解析を行うことによって、卵の生産性や品質、体重および脚長に関与する遺伝子座 (QTL) の検出を行った。これらの形質は、多数の QTL によって支配されていることに加えて、QTL 間の相互作用 (エピスタシス QTL) や環境にも影響される。それゆえ、その遺伝子座支配の機構 (図 1) は極めて複雑であると考えられる。ニワトリの卵および成長形質に関わる QTL 情報を蓄積していくことは、ニワトリが示す生産性や品質を支配している遺伝子座支配の機構を理解するために重要なことであるとともに、将来、世界の畜産物の品質向上および増産に繋がるものと期待されている。

卵生産形質 (産卵率および初産日齢) に関しては、主効果 QTL5 つ、エピスタシス QTL3 組を、第1、2、4、7、8、11、17 および 19 染色体上に検出した。大シャモの産卵率は、白色レグホーンのそれと比較して低いですが、ある遺伝子座においては、大シャモの対立遺伝子が産卵率を増加させる効果をもつことを明らかにした³⁾。また、3つの産卵ステージ (初期・中期・後期) に得られた卵の外部形質 (卵重、卵サイズ、卵殻重、卵殻強度、卵殻厚および卵殻色) に関しては、44 の主効果 QTL を、第1、2、4、5、8、10、11、12、17 および Z 染色体上に検出した。これらの主効果 QTL の多くは、卵外部形質の発現に関し、産卵期間の各時期において時期特異的に発

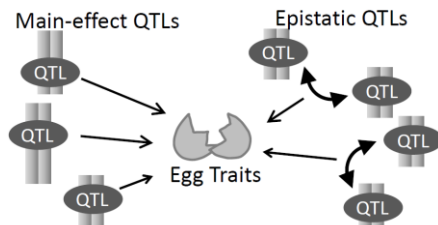


図 1. 卵形質に関わる遺伝子座 (QTL) のイメージ. 主効果 QTL と相互作用効果を示すエピスタシス QTL が影響する。

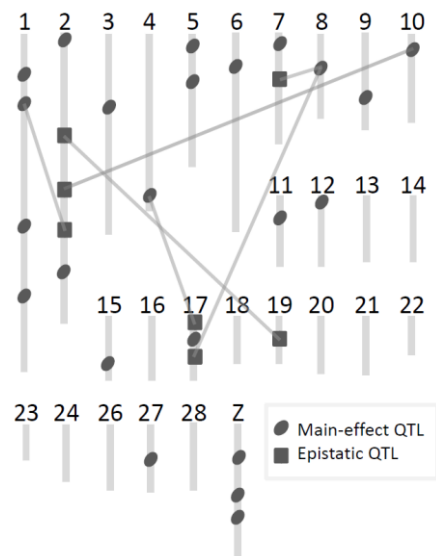


図 2. 卵関連形質に関わる遺伝的基盤の一端. 多数の遺伝子座およびそれらの交互作用により制御される。

現するものであった⁴⁾。さらに、3つの産卵ステージに得られた卵の内部形質（卵白重、卵白高、卵白サイズ、卵黄重、卵黄高、卵黄サイズおよび卵黄色）に関しては、49の主効果QTLと3組のエピスタシスQTLを、第1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、15、17、27およびZ染色体上に検出した。卵外部形質の場合と同様に、卵内部形質に関しても、多くの時期特異的な効果をもつQTLを発見した⁵⁾。上記のように我々は、ニワトリゲノムに広く分布する多数の卵関連形質に関与する遺伝子座（図2）を発見することに成功し、その大部分は新規の発見であった⁶⁾。近年、様々な卵形質の背景にある因果関係を推定できる統計解析により、24種類の卵形質に関与する17の主効果QTLが検出され、卵の生産性、卵のサイズならびに卵殻色の表現型および遺伝子座が、独立した3つの表現型ネットワークを形成していることが明らかになった⁷⁾。

成長形質（体重および脚長）に関与する48の主効果QTLならびに19組のエピスタシスQTLを22の異なる染色体上に同定し、孵化後から64週齢までの様々な成長ステージにおいて、それらの遺伝子座がネットワークを形成し、時期特異的な発現をすることによって制御されている（図3）ことが明らかになった⁸⁾。

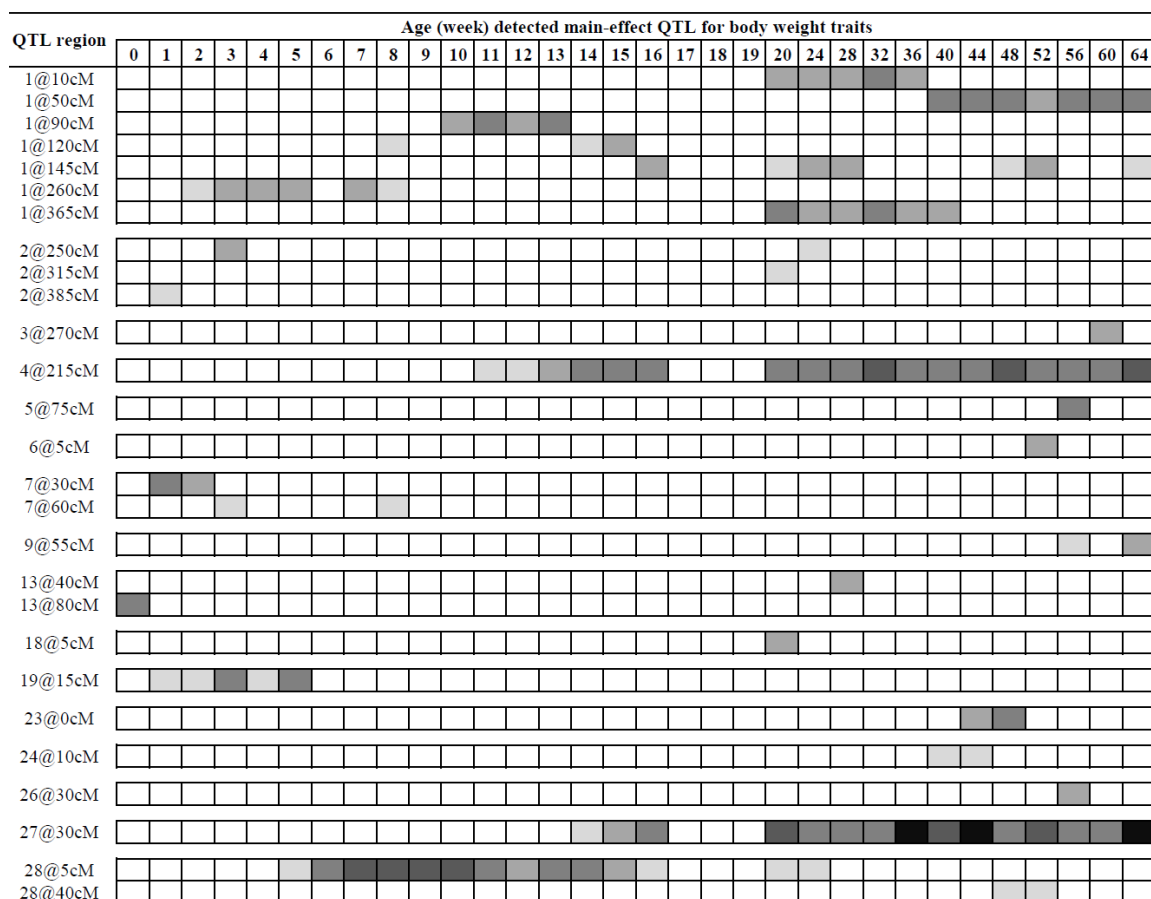


図3. ニワトリの体重に関わる多数の遺伝子座およびそれらの効果の経時的変化. 27の主効果QTLが、0から64週齢時の体重に関与している. 灰色から黒色で示した週齢に当該遺伝子座が関与しており、灰色から黒色になるにつれて、その効果が大きいことを示している. 多数の遺伝子座が、時期特異的に関与することによって、体重が制御されている.

卵の構成成分に関わる遺伝要因の解明

卵の生産性やサイズなどの特徴、生産性を支える行動特性における遺伝的な効果^{9,10)}に加えて、近年、卵の構成成分における遺伝要因に関する研究を開始した。様々なニワトリ品種を用いて、卵黄のアミノ酸含量¹¹⁾ならびに卵黄および卵白の低分子代謝産物含量¹²⁾を有意に変化させる遺伝要因を明らかにしてきた。将来、遺伝要因および環境要因の双方を駆使することによって、ある種の卵

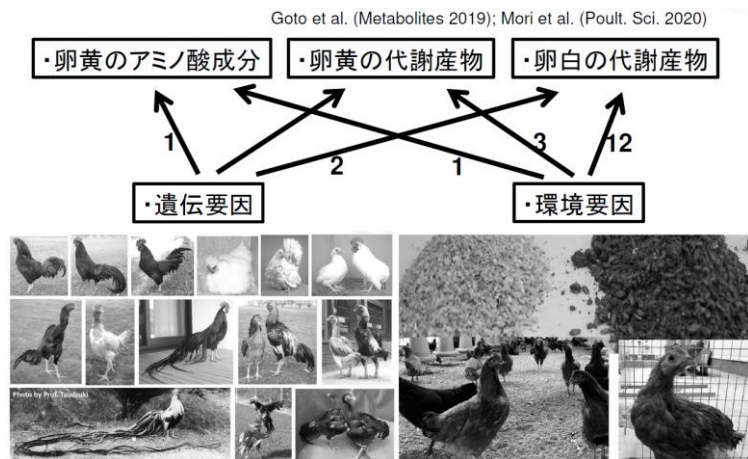


図 4. 卵成分に影響を与える遺伝要因ならびに環境要因. 多様なニワトリ品種が生産する卵成分のデータを蓄積しつつ、様々な環境要因との組み合わせの効果を継続的に調査している。

成分の含量を特異的に高めたデザイナーエッグを生産する技術 (図 4) が確立できれば、世界の人々の様々なニーズに答えた特殊卵の生産が可能になると期待されている。

まとめ

QTL 解析により、卵および成長形質に関与する 140 を超える多数の遺伝子座が形成する複雑な遺伝的ネットワークを検出するとともに、卵黄および卵白のアミノ酸ならびに低分子代謝産物の含量を高める遺伝要因を明らかにした。これらの成果は、量的形質に関する遺伝的基盤の解明、世界の食料危機の緩和に向けた畜産物の増産ならびに高品質化に繋がるものと期待される。

謝辞

本研究の遂行にあたり、大学院時代の指導教員である広島大学の都築政起教授には多大なサポートをいただきました。名古屋大学の石川明先生にも多くのご助言をいただきました。深く感謝申し上げます。また、学部時代の恩師の芦沢幸二先生、ポスドク時代の指導教員である小出剛先生、豊田淳先生、Olivier Hanotte 先生、日々のサポートをいただいた学生および共同研究者の方々に心より感謝します。最後になりましたが、本賞に推薦していただきました日本家禽学会会長の田島淳史先生ならびに学会関連の諸先生方に心より御礼申し上げます。

引用文献

- 1) FAOSTAT. (2017) <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- 2) Hunger Map 2020. (2020) <https://www.wfp.org/publications/hunger-map-2020>
- 3) **Goto T**, Ishikawa A, Onitsuka S, Goto N, Fujikawa Y, Umino T, Nishibori M, Tsudzuki M*. (2011) Mapping quantitative trait loci for egg production traits in an F₂ intercross of Oh-Shamo and White Leghorn chickens. *Animal Genetics* 42: 634-641.
- 4) **Goto T**, Ishikawa A, Yoshida M, Goto N, Umino T, Nishibori M, Tsudzuki M*. (2014) Quantitative trait loci mapping for external egg traits in F₂ chickens. *Journal of Poultry Science* 51: 118-129.
- 5) **Goto T**, Ishikawa A, Goto N, Nishibori M, Umino T, Tsudzuki M*. (2014) Mapping of main-effect and

epistatic quantitative trait loci for internal egg traits in an F₂ resource population of chickens. *Journal of Poultry Science* 51: 375-386.

6) **Goto T*** and Tsudzuki M*. (2017) Genetic mapping of quantitative trait loci for egg production and egg quality traits in chickens: a review. *Journal of Poultry Science* 54: 1-12.

7) **Goto T***, Fernandes AFA, Tsudzuki M*, Rosa GJM. (2019) Causal phenotypic networks for egg traits in an F₂ chicken population. *Molecular Genetics and Genomics* 294: 1455-1462.

8) **Goto T***, Ishikawa A, Nishibori M, Tsudzuki M*. (2019) A longitudinal quantitative trait loci mapping of chicken growth traits. *Molecular Genetics and Genomics* 294: 243-252.

9) **Goto T**, Shiraishi J-i, Bungo T, Tsudzuki M*. (2015) Characteristics of egg-related traits in the Onagadori (Japanese Extremely Long Tail) breed of chickens. *Journal of Poultry Science* 52: 81-87.

10) Moroi S, Nishimura K, Imai N, Kunishige K, Sato S, **Goto T***. (2019) Rapid behavioral assay using handling test provides breed and sex differences in tameness of chickens. *Brain and Behavior* 9: e01394.

11) Mori H, Takaya M, Nishimura K, **Goto T***. (2020) Breed and feed affect amino acid contents of egg yolk and eggshell color in chickens. *Poultry Science* 99: 172-178.

12) **Goto T***, Mori H, Shiota S, Tomonaga S. (2019) Metabolomics approach reveals the effects of breed and feed on the composition of chicken eggs. *Metabolites* 9: 224.