



2026年5月7日

報道関係者各位

慶應義塾大学
京都産業大学

「顔かたち」の個体差はどのように生まれるか？

— 遺伝的相互作用と「遺伝子型×環境」相互作用によるメダカの形態的多様性 —

慶應義塾大学の新屋みのり准教授、国立長寿医療研究センターの木村哲晃研究員、京都産業大学の池田貴史研究員、武田洋幸教授、東京大学大学院の中村遼平助教、基礎生物学研究所の成瀬清特任教授らの研究グループは、メダカの顔かたちに多様性（個体差）が生じる仕組みの一端を明らかにしました。

顔かたちの個体差は、複数の遺伝的要因と環境要因の両方が関わって生じると考えられています。本研究では、遺伝的要因としてメダカ6番染色体上にある複数の遺伝子座^{*1}が機能していることを特定しました。さらに、3つの候補遺伝子座が物理的に相互作用していることを明らかにし、ゲノムの立体構造が遺伝子座間の機能的な相互作用を促している可能性を示しました。また、環境要因として飼育温度が個体差形成に影響を与えること、さらにこの温度応答が特定の遺伝子型^{*2}に対してのみ起こることを発見しました。

本成果は、遺伝的相互作用や「遺伝子型×環境」相互作用が生物の形態的多様性をどのように生み出すのかを解明する上で、メダカが非常に優れたモデル生物であることを示しています。

本研究成果は、遺伝学の国際専門誌『G3: Genes | Genomes | Genetics』に掲載されました（2026年4月9日公開）。

1. 本研究のポイント

- **連鎖^{*3}した複数の遺伝子座が関与**：同一染色体上にある複数の遺伝子座が相互作用することによって、メダカの顔かたちに個体差が生じていることを解明しました。
- **ゲノムの空間的立体構造の存在**：上記の遺伝子座は、細胞内にて物理的に近接して存在することが明らかになりました。この空間的な立体構造が遺伝子座間の機能的な相互作用を促進している可能性を示唆しています。
- **遺伝子型に依存した飼育温度の影響**：飼育温度の違いが、顔かたちに影響を与えることを確認しました。また、この温度による変化は遺伝子型に依存した現象であることがわかりました。

2. 研究背景

我々ヒトの顔かたちには個人差が認められ、ヒトはその違いによって個人を識別して社会生活を営んでいます。こうした頭や顔の形の個体差は他の生物種でも観察されており、一部の種ではヒトと同様に個体識別情報として利用していることが知られています。顔かたちの個体差は、個体が持つ遺伝情報の違い（遺伝的要因）と生育環境の違い（環境要因）の両方によって制御されていると考えられていますが、その詳細な仕組みはこれまで十分に解明されていませんでした。

そこで本研究では、遺伝的に均一な集団である近交系が多数樹立されており、かつ、近交系間の顔かたちに差異があるメダカを用い、顔かたちの個体差形成に関わる仕組みの解明を目指しました。

3. 研究内容・成果

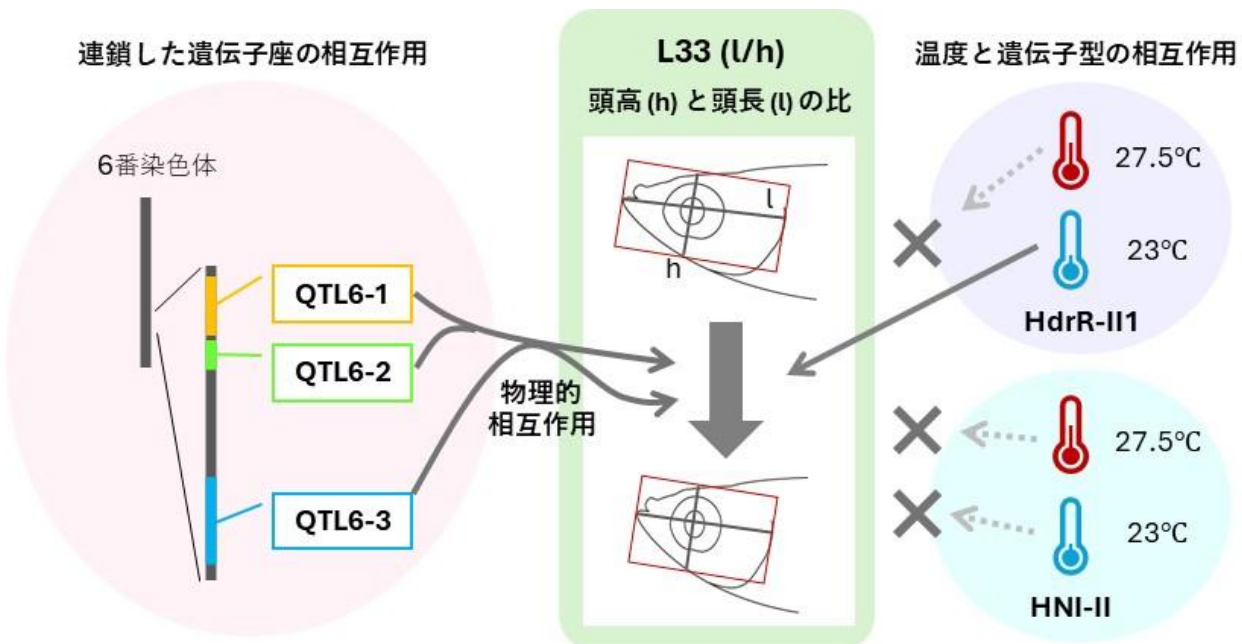
▶ 6番染色体上の3つの遺伝子座による複雑な制御

研究グループは、頭部のプロポーション（長さとの高さの比：L33）が顕著に異なる二つの近交系（HdrR-II1系統とHNI-II系統）を交配させ、その第2世代（F₂）個体群を用いたゲノム解析を行いました。さらに、ゲノムの一部を入れ換えたコンジェニック系統^{※4}を用いた解析を重ねることで、メダカの6番染色体上にある複数の領域が、単独ではなく互いに影響を及ぼし合うことで顔かたちの個体差を制御していることを見出しました。

また、この複雑な制御に関わる有力な候補として、QTL6-1、QTL6-2、QTL6-3と名付けた3つの領域を同定しました。これら複数の遺伝子座が特定の遺伝子型の組み合わせになったときのみ、顔かたちが大きく変化することから、連鎖している遺伝子座間の機能的な相互作用（遺伝的相互作用）が、生物の複雑な形態の多様性を生み出す鍵であることが示唆されました。

▶ ゲノムの立体構造が提供する機能的プラットフォーム

次に、これら3つの候補遺伝子座が細胞内でどのような位置関係にあるかを、ゲノムの3次元構造を解析するHi-C法を用いて調査しました。その結果、QTL6-1、QTL6-2、QTL6-3の候補領域は、ゲノム上では離れているものの、空間的には互いに引き寄せられ、物理的に近接していることが明らかになりました。このゲノムの立体構造は、顔かたちの異なる2系統間で高度に保存されていました。この結果は、立体構造の変化が直接的に形の違いを生むのではなく、むしろ「安定した構造的枠組み（フレームワーク）」としてあらかじめ存在し、複数の遺伝子座が効率よく相互作用するための「場（プラットフォーム）」を提供しているという、新たな解釈を可能にするものです。



6番染色体上の3つの遺伝子座（QTL6-1、QTL6-2、QTL6-3）の相互作用および遺伝子型依存的な温度応答がメダカの顔かたち（L33）に影響を与える

▶ 若魚期の飼育温度がもたらす影響

さらに、環境要因としての温度の影響を検証しました。2 ヶ月齢の若魚になったときから一部のメダカを野外施設へ移動させて飼育した際、野外飼育を開始する季節によって頭部のプロポーションが変化することに気が付きました。この偶然の発見（セレンディピティ）をきっかけにさらなる温度検証実験を行いました。

2 ヶ月齢までは一定の標準温度（27.5℃）で育て、その後の2 ヶ月間を異なる温度（23℃、27.5℃、32℃）で飼育したところ、HdrR-III1 系統では、低温（23℃）にて顔かたち（L33）が変化することが確認されましたが、HNI-II 系統ではこうした変化がいずれの温度でも見られませんでした。この結果により、顔かたちの温度応答性は一様ではなく、個体の遺伝子型に依存して決まる「遺伝子型×環境」相互作用によって個体差が生じることが明らかになりました。また、顔かたちがほぼ完成したと考えられる成長段階（2 ヶ月齢以降）においても、依然として環境に対する柔軟な応答性が保持されていることも重要な知見と言えます。

4. 今後の展開

本研究は、メダカの顔かたちという複雑な形質が、連鎖した複数の遺伝的要因と環境要因が複雑に絡み合うことで制御されていることを明らかにしました。

今後は、有力な候補として見出された QTL6-1、QTL6-2、QTL6-3 の3つの領域の検証を行い、領域内のどの遺伝子が遺伝的要因の本体であるのか、またそれらが具体的にどのように相互作用をするのか明らかにしていく必要があります。加えて、特定の遺伝子型を持つ個体のみが温度応答を示す仕組みの解明も重要な課題です。

本研究で見出された温度応答性の有無が、野生集団においてどのような適応的意義（生存や繁殖における有利さ）を持っているのかについては、未だ推測の域を出ません。HdrR-III1 系統が由来する南日本集団は、HNI-II 系統が由来する北日本集団よりも広範かつ多様な温度環境に生息しています。こうした温度応答性を保持していることが変動する環境への適応戦略として有利に働いている可能性が考えられます。今後、遺伝学的な解析を生態学的な視点と統合させることで、多様な環境下で生物がどのようにその姿を最適化させていくのか、その進化プロセスの全貌解明につながることを期待されます。

<原論文情報>

掲載誌：G3:Genes | Genomes | Genetics

論文題名：Linked genetic loci and genotype-dependent temperature effects shape craniofacial morphology in medaka

著者（所属機関名）：新屋みのり（慶應義塾大学商学部生物学教室）

木村哲晃（国立長寿医療研究センターバイオインフォマティクス研究部）

池田貴史（京都産業大学生命科学部／タンパク質動態研究所）

中村遼平（東京大学大学院理学系研究科）

武田洋幸（京都産業大学生命科学部）

成瀬清（基礎生物学研究所バイオリソース研究室）

掲載日：2026年4月9日

DOI：10.1093/g3journal/jkag094

<研究助成>

本研究は、文部科学省特定領域研究、JSPS 科研費、慶應義塾大学学事振興資金、ながひさ科学振興財団研究奨励金、基礎生物学研究所共同利用研究プログラムによる支援のもと、実施されました。

<用語説明>

- ※1 遺伝子座：染色体上の特定の位置や領域のこと。
 - ※2 遺伝子型：ある遺伝子座において個体が持つ遺伝情報の構成のこと。同じ種でも個体によって僅かに異なる。
 - ※3 連鎖：同じ染色体上に存在し、共に次世代へと受け継がれる傾向があること。
 - ※4 コンジェニック系統：特定のゲノム領域（調べたい領域）だけを別の系統由来に入れ替え、それ以外のゲノム領域は全て元の系統と同一であるような実験用系統のこと。本研究では HdrR-III 系統を元の系統とし、6 番染色体全体もしくは一部を HNI-II 系統由来のものに入れ換えた系統を多数作製し、解析に用いました。
-

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 TEL：03-5427-1541 FAX：03-5441-7640

E-mail：m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>

京都産業大学 広報部 TEL：075-705-1411 FAX：075-705-1987

E-mail：kouhou-bu@star.kyoto-su.ac.jp <https://www.kyoto-su.ac.jp/>