



令和 8 年 4 月 1 7 日

## カラスはなぜ真っ黒？——黒さの秘密は「止まらないスイッチ」にあった

- ・カラスの黒い羽は、黒さを生み出す“スイッチ”である MC1R がホルモンなしでも高活性を保ち、黑色素を作り続けることで生じる可能性を示しました。
- ・黒色の野生鳥類で初めて、MC1R の恒常的な活性化を細胞実験で実証し、複数のアミノ酸変化の関与を示しました。
- ・この成果は、黒色化に多様な分子機構があることを示し、収斂進化の理解に新たな知見をもたらします。

カラスはなぜ、あれほど黒いのでしょうか。身近でありながら長年謎とされてきたこの問いに、分子レベルから迫る新たな発見がありました。

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域（理）の竹内栄教授、相澤清香准教授らの研究グループは、羽の色を決める受容体「MC1R」に着目。その機能解析から、黒さを生み出す“スイッチ”である MC1R が、カラスでは切れることなく入り続けている可能性を明らかにしました。

鳥の羽や動物の体色は、主に黒色系のユーメラニンと赤褐色系のフェオメラニンのバランスで決まります。このバランスを調整するのが MC1R、いわば“色の切り替えスイッチ”です。通常はホルモン刺激によって一時的にオンになり、ユーメラニンの合成を促します。

本研究では、ハシブトガラスの MC1R を培養細胞で詳細に解析した結果、ホルモンがなくても高い活性を保ち、ホルモン刺激への応答が弱いことが判明しました。つまりカラスでは、このスイッチ自体が常にオンの状態にあり、ユーメラニンが作られ続けていると考えられます。さらに、マウスやニワトリでは 1 アミノ酸置換で生じる「止まらないスイッチ」が知られていますが、カラスでは複数のアミノ酸変化の組み合わせで生じている可能性が示されました。

本研究は、野生の黒い鳥でこの仕組みを実験的に示した初めての成果です。カラスの黒さの謎に新たな答えを与えるとともに、生き物の色の収斂進化に関する重要な発見といえます。

本研究成果は、2026 年 4 月 6 日に国際学術誌「*General and Comparative Endocrinology*」オンライン版に掲載されました。

### ◆研究者からのひとこと

カラスの羽はなぜ黒いのでしょうか。全身が黒いカラスは古くから神の使いとして語られ、黒い羽の理由も太陽に焼かれたためなどと説明されてきました。私はこの謎に博士前期課程の研究として取り組み、現代の科学で解明を試みました。カラスに魅せられ、この問いに関心を抱いてきたひとりのカラス好きとして、結果が出て嬉しい限りです（大学院環境生命科学研究科博士前期課程修了生の中野さん）。

## PRESS RELEASE

30年前、鳥類のメラニン色素に基づく羽色が MC1R によって制御されることを世界で初めて報告して以来、羽色の性差や模様形成のしくみの解明に取り組んできました。定年を前に、子どものころから身近にいたカラスの黒色の原因を明らかにできたことに、深い感慨を覚えます（竹内教授）。

### ■発表内容

#### <現状>

鳥類の羽の色は、主にユーメラニン（黒～暗褐色）とフェオメラニン（黄褐色～赤褐色）という2種類のメラニン色素の量と分布によって決まります。この色素バランスの制御において中心的な役割を担うのが、色素細胞（メラノサイト）に発現する受容体タンパク質 MC1R（メラノコルチン1受容体）です（図1）。

MC1Rは通常、ホルモンである  $\alpha$ -MSH（ $\alpha$ -メラノサイト刺激ホルモン）の刺激によって活性化され、細胞内の cAMP 濃度を上昇させることでユーメラニンの合成を促進します。一方、MC1Rの活性が低い場合にはフェオメラニンが優位となり、より明るい色彩が形成されます。

これまでの研究から、MC1Rは鳥類や哺乳類において、体色変異や黒色化（メラニズム）の進化に繰り返し関与してきたことが知られています。特にマウスやニワトリでは、MC1Rの特定の変異（92番目のグルタミン酸がリシンに置換）が強い黒色化を引き起こすことが明らかになっており、単一のアミノ酸置換によって受容体が恒常的に活性化（構成的活性化という）される例が報告されています（図2）。

一方で、野生の鳥類では、MC1Rの配列変異と羽色の関連が多数報告されているものの、その多くは遺伝子配列と表現型の相関に基づくものでした。受容体の機能を直接検証した研究は限られており、特に全身が均一に黒い羽を持つカラス類での実験的検証は行われていませんでした。

カラス属（Corvus）は系統的に多様でありながら、多くの種で一律な黒色羽を持ちます。そのため、その分子基盤の解明は進化生物学的にも重要な課題となっていました。

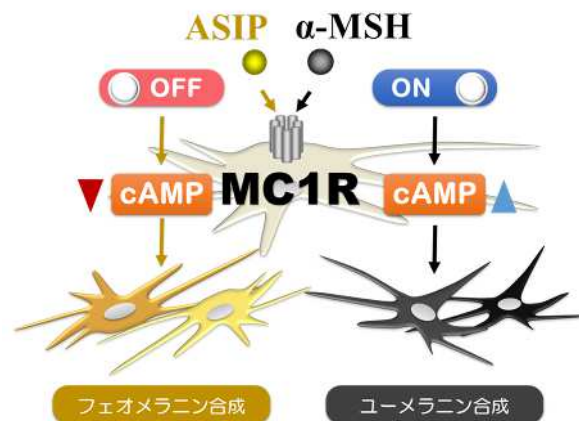


図1 MC1Rによるメラニン合成調節のしくみ

メラノサイトにある MC1R に  $\alpha$ -MSH が作用すると、スイッチがオンになり、cAMP 濃度が上がることでユーメラニンの合成が促進されます。一方、アグーチシグナルタンパク質（ASIP）が作用するとスイッチがオフになり、フェオメラニンが合成されます。哺乳類や鳥類では、ASIP や MC1R の変異によって体色の多様性が生じることが知られています。



図2 MC1Rの変異によって黒色化したヒヨコ（ニワトリ）

左が野生型、右が MC1R の 92 番目のグルタミン酸（E）がリシン（K）に置換された E92K 変異体です。この変異により MC1R は恒常的に活性化し、黒色化が生じます。これは、鳥類で初めて明らかにされた MC1R 変異体です。



## PRESS RELEASE

### <研究成果の内容>

本研究では、ハシブトガラスの MC1R に着目し、その配列の特徴と機能的性質を培養細胞を用いて詳細に解析しました。

まず、カラスの MC1R を CHO-K1 細胞および HEK293T 細胞に発現させ、細胞内シグナルである cAMP の産生や転写活性を指標に受容体活性を評価しました。その結果、カラスの MC1R はホルモン ( $\alpha$ -MSH) による刺激がなくても高い活性を示し、常に cAMP を産生し続ける「構成的活性化状態」にあることが明らかになりました。さらに、 $\alpha$ -MSH を添加しても活性の上昇がほとんど見られなかったことから、この受容体はすでにほぼ最大活性に近い状態にあると考えられます。このような性質は、ユーメラニン合成を持続的に促進し、全身の黒色化を説明する有力な分子機構と考えられます。

次に、他の鳥類との比較解析を行ったところ、カラスには特徴的なアミノ酸置換が複数存在することが分かりました。これらは、受容体の N 末端領域、膜貫通領域、細胞外ループなど、機能的に重要と考えられる領域に広く分布していました。さらに、複数のカラス種でこれらの置換が共通して保存されていることから、カラス属に特有の進化的特徴である可能性が示されました。

特に、黒色化との関連が示唆されていた N 末端領域の変異 (E12K および E18K) について機能解析を行いました。これらの変異単独では強い構成的活性化を再現できませんでした。また、カラスの MC1R からこれらの変異を元に戻しても、活性は大きく低下しませんでした。これらの結果から、カラスの MC1R の特異な活性は単一の変異によるものではなく、複数のアミノ酸置換が相互に作用することで受容体の構造やダイナミクスを変化させ、活性状態を安定化している可能性が高いと考えられます。

すなわち、本研究は、カラスの黒色羽の分子基盤として「複数変異の組み合わせによる受容体の構成的活性化」という新しいモデルを提示するものです。

### <社会的な意義>

本研究は、カラスという身近な生物の特徴的な外見の背後にある分子メカニズムを解明した点で、基礎生物学的に重要な意義を持ちます。特に、野生の鳥類において MC1R の構成的活性化を実験的に示した初めての例であり、羽色進化の理解を機能的・実験的根拠に基づいて大きく前進させました。

また、本研究は「同じ黒色化」という一見単純な形質であっても、その実現に至る分子メカニズムは一様ではなく、種ごとに異なる進化的経路が存在することを示しています。これは、生物進化が単一の最適解に収束するのではなく、多様な分子戦略を通じて同様の表現型に到達し得ることを示す好例です。進化の柔軟性と創発性を理解する上で重要な知見といえます。

さらに、MC1R はヒトを含む多くの動物で皮膚や毛の色、紫外線応答などにも関与することが知られています。本研究の知見は、色素細胞の機能制御や受容体シグナル伝達の一般原理の理解にも貢献する可能性があります。

加えて、カラスは都市環境に適応し、人間社会と密接に関わる動物です。その黒い外見の成り立ちを科学的に解明することは、身近な自然への関心を高めるとともに、科学コミュニケーションの



## PRESS RELEASE

観点からも意義があります。

本研究は、「身近な疑問」から出発し、分子レベルの解析によって進化の仕組みに迫るものです。基礎科学の面白さと重要性を広く社会に伝える成果といえます。

### ■論文情報

論文名：Constitutive Activation of MC1R in the Large-billed Crow (*Corvus macrorhynchos*) and Its Potential Role in Black Plumage

掲載誌：General and Comparative Endocrinology

著者：Saya Nakano, Yuichi Tashiro, Hibiki Fukuchi, Sayaka Aizawa, Sakae Takeuchi

D O I : <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2026.114924>

U R L : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016648026000511?via%3Dihub>

### ■研究資金

本研究は、科学研究費補助金（基盤研究 C : JP23K05851）の助成を受けて実施しました。

#### <お問い合わせ>

岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域（理）

教授 竹内 栄

（電話番号）086-251-7868

（FAX） 086-251-7876

@は全角表示しています。



岡山大学は持続可能な開発目標 (SDGs) を支援しています。

