

中央アルプスと伊勢で発見された白いタヌキの体色変異の原因を解明

—アルビノ遺伝子の哺乳類における広域拡散の初事例—

概要

京都大学霊長類研究所 古賀章彦 教授らは、中央アルプスと伊勢で発見された白いタヌキの体色変異の原因を、遺伝子解析により明らかにしました。

中央アルプス山麓で数十年前から、白いタヌキが頻繁に目撃されています。古賀教授らは、2017 年 1 月に長野県飯田市で害獣防除の捕獲器に入った白タヌキの遺伝子を分析した結果、メラニン色素の合成を司るチロシナーゼ遺伝子が増えているために、このようなアルビノ表現型のタヌキが生まれることを明らかにしました。また、2014 年に、これとは別に白いタヌキが三重県の松阪で見つかりました。交通事故にあった個体であり、大内山動物園（三重県度会郡）で治療を受けて暮らしています。古賀教授らがこのタヌキの体色変異の原因を調べたところ、長野県の飯田の白タヌキと同様に、チロシナーゼ遺伝子の増えが原因となることが判明しました。飯田と松阪は、直線距離で 170 km ほど離れています。原因遺伝子がどこで生じたのかは不明ですが、その遺伝子が代々受け継がれて長距離を移動し、飯田と松阪に達したことになります。これは、アルビノ体色をもたらす遺伝子の、哺乳類での広域拡散の、初めての事例となります。一般にこの体色変異は、自然での生存に不利となります。それにもかかわらずタヌキで長期間に渡り維持されたのには、タヌキ特有の原因があるのかもしれませんが。都市の環境に適応することで、タヌキ個体間の生存競争が緩んだという可能性が考えられます。

本研究成果は、2021 年 3 月 6 日に国際学術誌「Genes & Genetic Systems」にオンライン掲載されました。



飯田市で害獣防除の捕獲器に入ったタヌキの「リュウ」（写真提供：古賀章彦）

参考資料：

論文 1（先行研究）

テーマ 中央アルプスの白いタヌキ

代表者 古賀章彦（京都大学）

概 要

中央アルプス山麓では、白いタヌキが頻繁に目撃されています。目は赤いので、アルビノ表現型といえます。長野県の飯田に現れた白タヌキにつき、メラニン色素の合成を司る遺伝子の構造を、調べました。結果から、遺伝子の内部が欠けていることが、わかりました。この遺伝子は本来、全部で 529 個のアミノ酸からなる酵素の設計図となっています。この変異体タヌキの遺伝子から作られる酵素では、347～394 番目のアミノ酸が、抜け落ちることになります。そのような状態の酵素は、メラニン合成の機能を果たせません。体色変異の原因は、この遺伝子の内部が欠けていることであるという結論に、至りました。欠け方は単純ではなく、数回の変化が蓄積したようであり、蓄積の仕組みを今後追求するための、よい研究資料となります。

1. 背景

白いタヌキの目撃 中央アルプス地域では数十年前から、白いタヌキが頻繁に目撃されています（図 1）。タヌキの寿命は野生では 10 年もないでしょうから、この体色の原因となる遺伝子は、野生のタヌキで代々受け継がれているのであろうと、推測できます。

原因となる遺伝子 この体色変異の原因がどの遺伝子であるのか、また、遺伝子にどのような変化が起こっているのかは、わかっていませんでした。

遺伝子の候補 メラニンは、一連の化学反応で合成されます。その最初の反応を、チロシナーゼという酵素が担っています（図 2）。この酵素が機能しないとメラニンができません。ですので、チロシナーゼを作る遺伝子が、まずは原因の候補となります。

飯田市での捕獲 タヌキは、害獣防除の対象であり、国や自治体の許可の下、数を定めて捕獲を行っています。2017 年 1 月に、飯田市に設置した捕獲器に、白い個体が入っていました。この個体は飯田市立動物園に移されて、そこで暮らしています（図 3）。名前は、リュウ。



図 1. 野生タヌキの親子連れ（共著者の写真家・宮崎学が撮影）

狸柄の母親（左端）に、狸柄の子 4 頭と、白色の子 2 頭

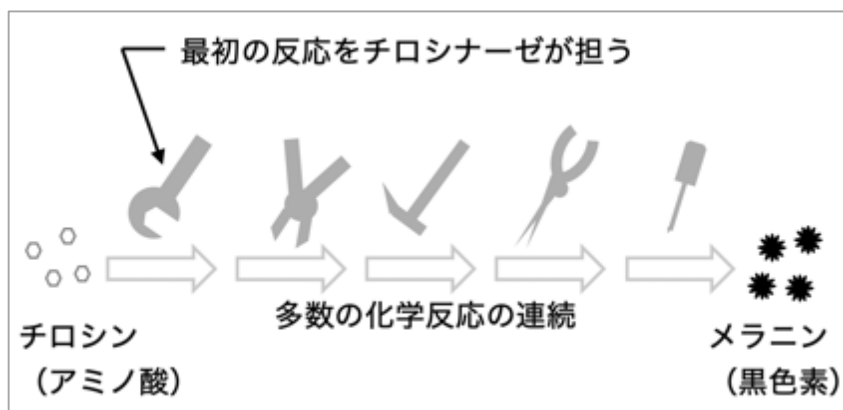


図2. チロシナーゼのはたらき



図3. 飯田市立動物園で暮らすリュウ

2. 研究の手順と結果

遺伝子の増幅

通常の体色（つまり狸柄）の個体、およびリュウの糞便から、DNA を抽出しました。続いてチロシナーゼ遺伝子の主要部分（領域1～5の計5か所）を、PCR 法で増幅しました（図4）。

狸柄のタヌキからは、5か所のすべてが増幅できました。リュウからは、領域1、2、4、5の増幅となりました。リュウの遺伝子では領域3が欠けていると、推測しました。

塩基配列解析

さらに DNA の塩基配列（G, A, T, C の並び）を解読し、どこに違いがあるかを詳しく調べました。

欠落

529個あるはずのアミノ酸が、狸柄個体では、全部そろっていました。これに対しリュウでは、347番目から394番目に相当する部分が、ごっそり抜け落ちていました。

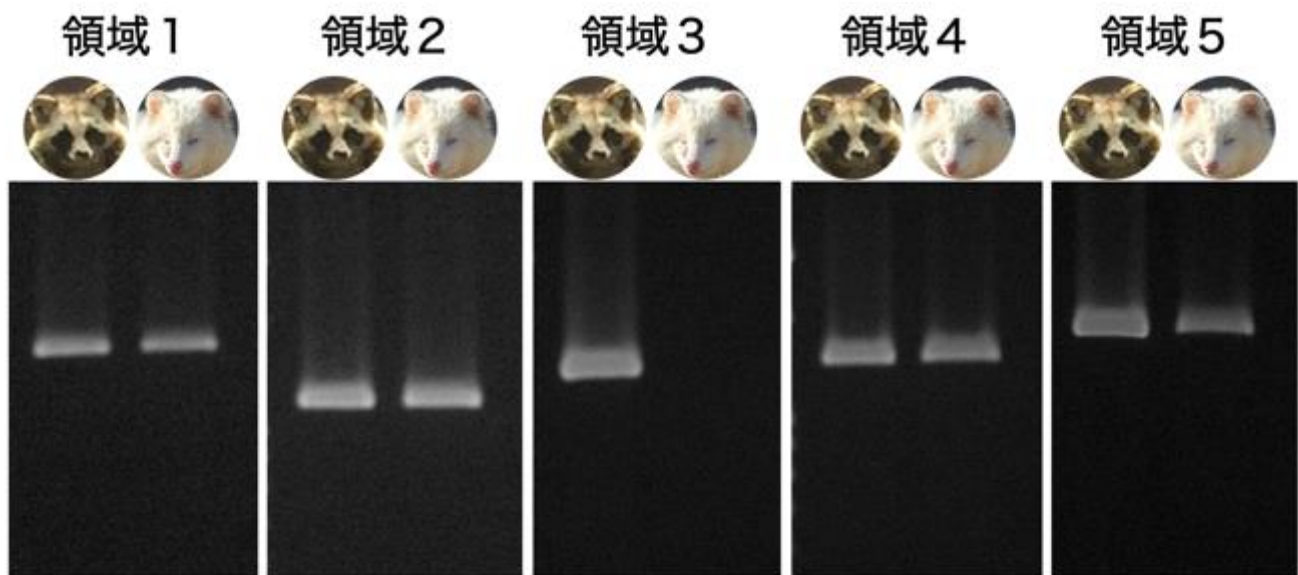


図4. 領域1～5のPCR増幅

3. 解釈

重要なアミノ酸

チロシナーゼは、内部に銅イオンを保持していないと、正常に機能しません。保持に中心的な役割を果たすアミノ酸が、363、367、389、390番目にあります。リュウの遺伝子から作られる酵素では、これがすべて消失となります。

体色変異の原因

リュウの遺伝子は内部が欠けていて、機能をもつチロシナーゼが作れず、そのために白い体色になっているとの結論が、得られました。

4. 意義

遺伝的原因の解明

研究成果の意義の第1は、リュウの体色変異の遺伝的な原因が、解明できたことです。

複雑な構造

遺伝子の内部が欠けているのですが、単純に抜け落ちたのではなく、構造は複雑です。数回の変化が蓄積したものと考えられます。蓄積の仕組みを今後追求するための、よい研究資料となります。これが第2の意義です。

白タヌキ目撃情報からの推測

もう1つ、タヌキの生態の面での意義があります。メラニンのない個体は本来、野生の環境では生存に不利となるはずですが、主な理由は、(1) 紫外線からの防護が不十分で癌になりやすい、(2) 視力が低下するために視覚情報が減る、(3) 体色が目立つので捕食者に見つかりやすい。しかし、白い個体、および原因を潜在的にもつ個体は、ふえていくようです。都市化への適応(残飯や排水溝などをうまく利用)で、タヌキにとって生きるための制約が緩んだことが、1つの仮説として考えられます。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Complex intra-gene deletion leads to oculocutaneous albinism in tanuki (Japanese raccoon dog)
(遺伝子内部の複雑な欠落がタヌキのアルビノ体色をもたらしている)

著 者：Yuji Mae (Iida City Zoo) [前裕治 (飯田市立動物園)] , Kenji Nagara (Iida City Zoo) [長良健次 (飯田市立動物園)] , Manabu Miyazaki (Manabu Miyazaki Photography Office) [宮崎学 (宮崎学写真事務所)] , Yukako Katsura (Kyoto University) [桂有加子 (京都大学)] , Yuki Enomoto (Kyoto University) [榎元裕紀 (京都大学)] , Akihiko Koga (Kyoto University) [古賀章彦 (京都大学)]

掲 載 誌：Genome (63 巻 10 号、517-523 ページ、2020 年)

ISSN：0831-2796 (紙版)、1480-3321 (ウェブ版)

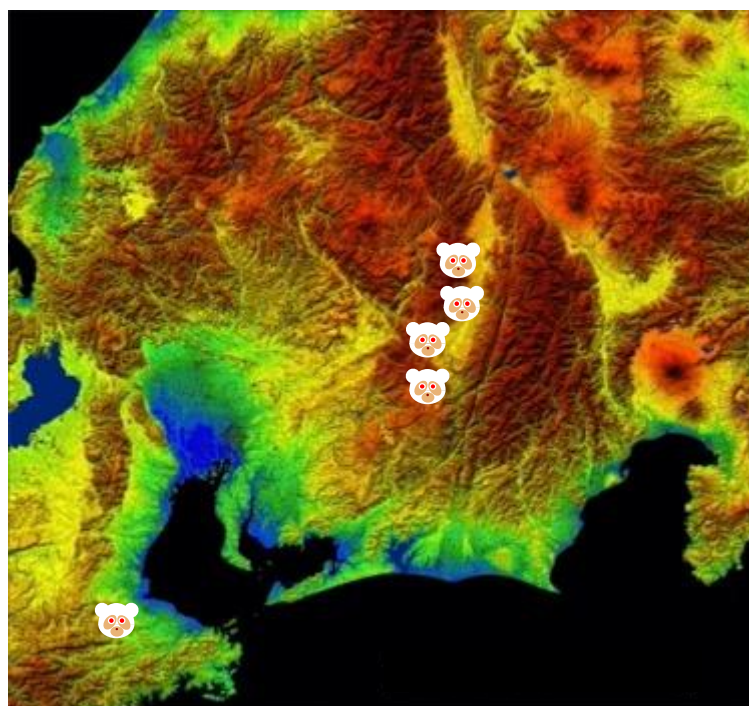
DOI：10.1139/gen-2020-0049

論文 2 (本研究)

テーマ 伊勢の国の白いタヌキ

代表者 古賀章彦 (京都大学)

中央アルプス山麓で数十年前から、白いタヌキが頻繁に目撃されています。これとは別に白いタヌキが、三重県の松阪でみつかりました。交通事故にあったものです。大内山動物園で治療を受け、そのまま暮らしています。このタヌキの体色変異の原因を調べたところ、長野県の飯田の白タヌキと同じ原因であるという結果が、得られました。飯田と松阪は、直線距離で 170 km ほど離れています。原因遺伝子がどこで生じたのかは不明ですが、その遺伝子が代々受け継がれて長距離を移動し、飯田と松阪に達したことになります。アルビノ体色をもたらす遺伝子の、哺乳類での広域拡散の、初めての事例となりました。一般にこの体色変異は、自然での生存に不利となります。タヌキで長期間に渡り維持されたのには、タヌキ特有の原因があるのかもしれませんが、都市の環境に適応することで、タヌキ個体間の生存競争が緩んだという可能性が、考えられます。



1. 背景

飯田の白タヌキに
関する先行研究

長野県の飯田で、白いタヌキが害獣駆除の捕獲器に入りました。飯田市立動物園に移されて暮らしています。つけてもらった名前は、リュウ（図1）。先の研究（Genome 誌に掲載、論文1）で、リュウではチロシナーゼ遺伝子の内部が欠けていて、そのためにメラニンができないことが、わかりました。

松阪で白タヌキを
発見

三重県の松阪で、2014 年、白いタヌキが車にひかれていました。大内山動物園に持ち込まれて治療を受け、今では元気に暮らしています。名前は、ポン（図1）。体色も行動も、リュウによく似ていますので、こちらもチロシナーゼ遺伝子が変化しているのかもしれないと、推測しました。

通常の狸柄



リュウ（飯田出身）



ポン（松阪出身）



図1. 比較したタヌキ個体

2. 研究の手順と結果

同じ変化

調べてみましたが予想どおり、チロシナーゼ遺伝子が変化していました。しかし予想に反して、リュウと同じ様相の変化でした。PCR 増幅（図2）でも、さらに塩基配列の解析でも、ぴったり同じ結果となります。

領域3があると
反応するPCR

領域3がないと
反応するPCR

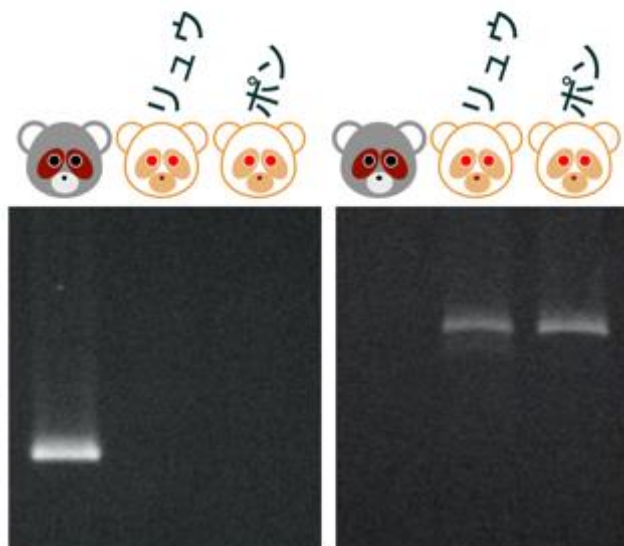


図2. チロシナーゼ遺伝子の領域3

3. 解釈

祖先は共通

リュウでの変化は複雑な構造であることが、先の研究でわかっていました。これと寸分違わぬ変化が、ボンでも別口で起こるとは、遺伝学の常識からは、考えられません。世代を遡れば共通の祖先に行き着くはず。

代々継承

その祖先で起こった変化が子孫に受け継がれて、リュウとボンに伝わったと考えるのが、順当です。

4. 意義

移動の距離と時間

さて、飯田と松阪の距離は約 170 km。とはいえこれは、地図上の直線距離。間には名古屋都市圏があり、木曽川や長良川などの幅広の川もあります（図 3）。遺伝子の変化がどこで生じたのかは不明ですが、飯田と松阪にたどり着くまでには長い時間がかかったことでしょう。

疑問

ここで疑問がわきます。本来生存に不利なはずのこの遺伝子が、なぜ長期間、絶えることなく受け継がれたのか。

仮説

タヌキが都市の環境に適応したことが、仮説として考えられます。具体的には、残飯を食料にする、排水溝などをねぐらとして利用する、など。適応することで、タヌキ個体間の生存競争が緩み、緩んだ結果として遺伝子の不利の程度も、軽減されることになった。このような考えです。

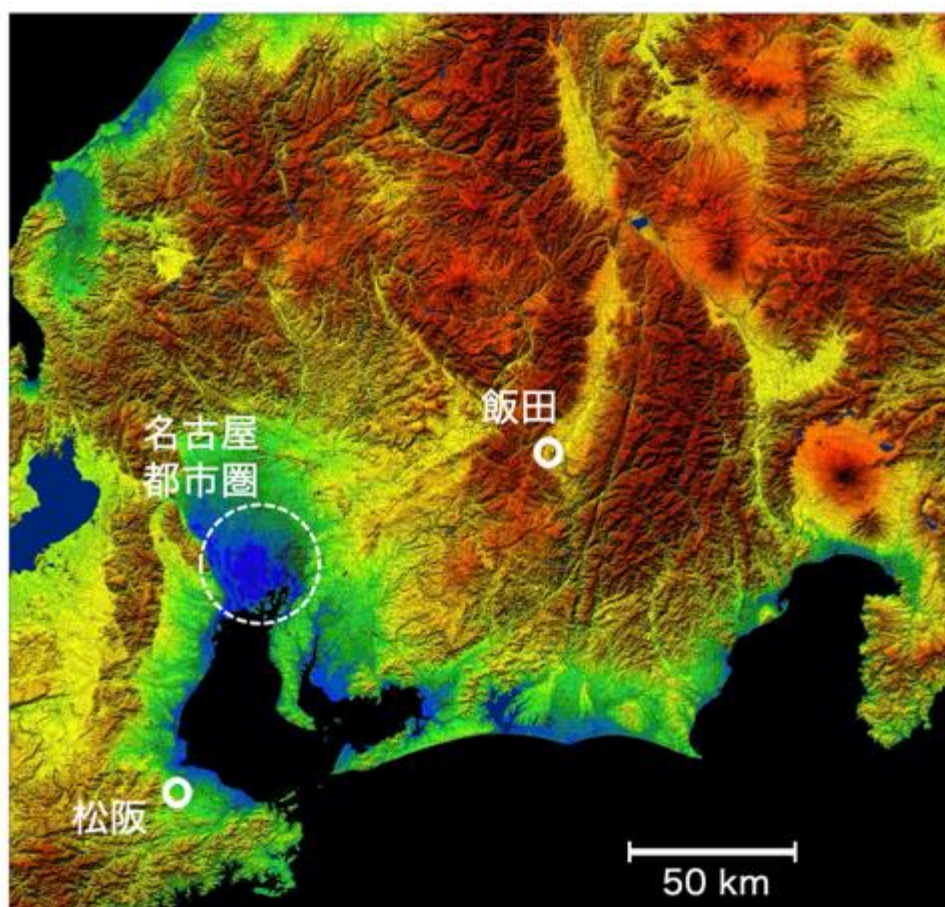


図 3. 移動を果たした区域の地形図

<論文タイトルと著者>

タイトル：A mutant gene for albino body color is widespread in natural populations of tanuki (Japanese raccoon dog) (アルビノ体色をもたらす変異型遺伝子がタヌキの自然集団で拡散している)

著 者：Seigo Yamamoto [山本清號 (大内山動物園)], Mitsuhiro Murase [村瀬光彦 (大内山動物園)]
Manabu Miyazaki, [宮崎学 (宮崎学写真事務所)], Sakura Hayashi [林咲良 (京都大学)], Akihiko Koga [古賀章彦 (京都大学)]

掲 載 誌：Genes & Genetic System

ISSN：1341-7568 (紙版)、1880-5779 (ウェブ版)

DOI：10.1266/ggs.20-00047