様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　５ 年　６ 月 １９ 日現在

機関番号：６３８０１
研究種目：若手研究
研究期間：2020～2022
課題番号：２０Ｋ１５８６２

研究課題名（和文）季節性毛色変化の収斂的な進化メカニズムの解明

研究課題名（英文）Convergent evolution of the seasonal coat-color change

研究代表者
木下　豪太（Kinoshita, Gohta）

国立遺伝学研究所・ゲノム・進化研究系・博士研究員

研究者番号：６０７７４５７８

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）：本研究ではニホンノウサギの毛色二型の原因遺伝子について、遺伝子発現パターンの解析、系統解析による多型の獲得起源の解析、過去の気候変動による集団動態の推定を進めた。その結果、多型に関わるアリルで換毛期間中の発現量に差があることを検出した。また、ニホンノウサギの多型のアリルは、同一遺伝子による多型をもつ北米のオジロジャックウサギの多型のアリルは系統的に離れていることを明らかにした。また、列島内で最終氷期前後での有効集団サイズの増加と減少が推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義
毛色や羽毛の冬季白化は積雪環境への適応形質として、温帯以北の様々な哺乳類や鳥類で収斂進化している。しかし、異なる分類群間でどのように冬季白化が収斂進化したのかは未解明な部分が大きい。本研究では、ニホンノウサギはこれまで報告されている大陸産ノウサギとは異なる遺伝的基盤により季節性毛色変化を収斂進化させたことを明らかにすることができた。同時にその起源として、祖先多型の可能性や、未解析種からの遺伝子浸透の可能性も示唆された。本研究の成果は、北方に生息する多様な哺乳類で季節適応の遺伝的基盤と、気候変動による生物の進化的応答についての重要な知見を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we were focusing on the causative genes for the two types of coat color in the Japanese hare, conducting the analysis of gene expression patterns, the origin of polymorphisms through phylogenetic analysis, and the population dynamics due to past climate changes. As a result, we detected differences in the expression levels during the autumn molting period associated with the alleles involved in the polymorphism. Furthermore, we revealed that both alleles are phylogenetically distant from the alleles associated with the polymorphism in hares in North America one of which also exhibit polymorphism caused by the same gene. Additionally, a dynamic increase and decrease in effective population size were estimated during the period around the last glacial maximum in the Japanese hare population in the archipelago.

研究分野：生態遺伝学

キーワード：季節性毛色変化　環境適応　野生哺乳類　収斂進化

※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、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

毛色や羽毛の冬季白化は積雪環境への適応形質として、温帯以北の様々な哺乳類や鳥類で収斂進化している。また、その多くの種で局所環境への適応の違いに適応するため、種内や近縁種間で季節変化するものと変化しないものという二型が存在しており、生物の環境適応形質の進化や多様性創出を理解するうえで興味深い研究対象である。しかし、現在のところ、冬季の毛色二型に関わる責任遺伝子は北米と欧州のノウサギ属 2 種で同定された１つの遺伝子のみであり、その他のノウサギ種や異なる分類群間でどのように冬季白化が収斂進化したのかは未解明な部分が大きい。

２．研究の目的

研究代表者は近年、ニホンノウサギは大陸種と異なる遺伝子により季節性毛色変化を収斂進化させた可能性を見出しており、本研究ではノウサギ属を足掛かりに、北方に生息する多様な哺乳類で季節性毛色変化が収斂進化した遺伝的メカニズムの解明を進めた。

３．研究の方法

ニホンノウサギで特定された毛色二型の原因と考えられる候補遺伝子について遺伝子発現の解析を行った。夏毛から冬毛への換毛期において、ニホンノウサギの毛根組織を採取し、RNA の発現量を測定した。

ニホンノウサギの毛色二型の獲得起源に迫るため、ニホンノウサギと同じ責任遺伝子が毛色多型に寄与していることが新たに報告された北米のオジロジャックウサギの全ゲノム配列をデータベースより取得し、ノウサギ属における系統解析を行った。

日本列島内における過去の気候変動の影響を推定するため、ニホンノウサギが分布する東北から九州までの 13 地域の代表各 1 個体について、全ゲノムシーケンスを行い、PSMC 法によるデモグラフィー推定を行った。

４．研究成果

遺伝子発現解析の結果、夏毛から冬毛への換毛期の初期には、大陸種で白化の原因とされる Asip の発現量がニホンノウサギでも高く、換毛の進行とともに発現量が減少することが判明した。一方でニホンノウサギの毛色二型の原因遺伝子については、白化型アリルと非白化型アリルで換毛期間中の発現量に差が見られ、当該遺伝子にシス調節変異が起きていることが示唆された。一方で、冬毛から夏毛への換毛期にアレル間で発現量に有意な差は見られなかった。責任遺伝子のアレルの発現パターンが時期特異的にコントロールされており、季節性の毛色変化の発現に寄与していると推測された。しかし、更なるサンプル数の充実によって検証を進める必要がある。

系統解析の結果、責任遺伝子領域ではニホンノウサギの多型のアリルと、オジロジャックウサギの多型のアリルは系統的に離れており、それぞれの毛色多型は同一の遺伝子に制御されてい

るにも関わらず、系統的な起源は異なることが示唆された。一方で、ニホンノウサギの毛色二型にかかわるアレルの分岐は種分化よりも古く、祖先多型か他種からのイントログレッションによってニホンノウサギの二型は獲得された可能性が高いと推察された。今後、遺伝子領域内の変異の比較や、それぞれの種での多型の獲得起源など、詳細な進化史について全ゲノムデータを増やして解析を進める必要がある。

デモグラフィー推定の結果、どの地域集団も同様に最終氷期前後での有効集団サイズの増加と減少を示した。一方でその増減は日本海側地域の集団でより顕著であるようだった。地域による第四紀の気候変動の影響の違いが、集団サイズの増減に現れていると推察された。ニッチモデリングによる毛色二型の分布推定では、ニホンノウサギの毛色二型は最終氷期には白化型の分布域が現在よりも南西に広がっており、非白化型は九州や太平洋沿岸の限られた地域に分布が縮小していたと推定された。これらのことから、ニホンノウサギの毛色二型は過去の環境変動の下で、時空間的な環境の変化による平衡選択を受けながら維持されてきたことが推察された。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計2件（うち査読付論文　2件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　0件）

1．著者名 佐藤 淳、木下 豪太	4．巻 60
2．論文標題 次世代シークエンス時代における哺乳類学～初学者への誘い～	5．発行年 2020年
3．雑誌名 哺乳類科学	6．最初と最後の頁 307～319
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11238/mammalianscience.60.307	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Suzuki Hitoshi、Kinoshita Gohta、Tsunoi Takeru、Noju Koki、Araki Kimi	4．巻 111
2．論文標題 Mouse Hair Significantly Lightened Through Replacement of the Cysteine Residue in the N-Terminal Domain of Mc1r Using the CRISPR/Cas9 System	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of Heredity	6．最初と最後の頁 640～645
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jhered/esaa054	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

〔学会発表〕　計3件（うち招待講演　0件／うち国際学会　0件）

1．発表者名 木下 豪太，布目 三夫，郷 康広，牧野 能士，辰本 将司，Alexey P KRYUKOV，Sang-Hoon HAN，Irina KARTAVTSEVA，永野　惇，山田 文雄，井鷺 裕司，北野潤，鈴木仁
2．発表標題 島嶼固有種のノウサギにおける季節性毛色変化の進化
3．学会等名 日本生態学会
4．発表年 2021年～2022年

1．発表者名 木下豪太、佐藤拓真、角井建、遠藤優
2．発表標題 始めてみよう！野生哺乳類のゲノミクス
3．学会等名 日本哺乳類学会
4．発表年 2021年～2022年

１．発表者名 木下 豪太，布目 三夫，郷 康広，牧野 能士，辰本 将司，Alexey P KRYUKOV，Sang-Hoon HAN，Irina KARTAVTSEVA，永野　惇，山田 文雄，鈴木 仁，井鷺 裕司
２．発表標題 ニホンノウサギが冬季に白化するか茶色のままかを決める原因遺伝子と進化史
３．学会等名 日本生態学会
４．発表年 2020年～2021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