

小鳥の種によって歌が異なる原因に関わる遺伝子群を同定

～どのようにして小鳥は種によって違った歌を歌うようになったのか？～

ポイント

- ・近縁種なのにさえずりパターンが異なる小鳥2種間の脳内で遺伝子の読み出し方が異なることを解明。
- ・この2種間で読み出し方が変わった遺伝子群は神経回路形成・変化に関わる機能を担っていた。
- ・動物種によって異なる行動がどのように進化してきたのかを明らかにする研究の第一歩。

概要

北海道大学大学院理学研究院の和多和宏准教授らの研究グループは、小鳥で近縁種であるキンカチョウとカノコスズメを用いて、遺伝子の読み出し方（遺伝子発現制御）がどのように脳内で変わったことで種特異的な歌パターンが生まれたのかを明らかにしました。

小鳥の歌は、ヒトの言語と同じように親など他個体の発声パターンをまねることで後天的に獲得されます。小鳥は、種によってさえずり方が違うように、生まれながらにもつ遺伝情報の影響も受けて、種特異的な歌を歌うようになります。しかし、種分化の過程でどのような遺伝情報の変異が蓄積したことによって種間で異なった歌を歌うようになったのかはわかっていません。これは、小鳥の歌に限らず「動物の行動がどのように進化してきたのか？」という現在の生物学研究の大きな問題の一つです。

この問題に対して、鳴禽類スズメ亜目に属するキンカチョウとカノコスズメに着目して研究を行いました。この2種は近縁種にもかかわらず、さえずり歌が大きく異なり、また近縁種ゆえに雑種ハイブリッド個体を作り出せません（図1）。この近縁種2種間での「遺伝子の読み出されている量」とその子孫のF1ハイブリッド個体での「遺伝子座の読み出し比」の2つの情報から、ゲノム上の各遺伝子の読み出しに関わる変異の有無を判定できました。その結果、さえずり発声に重要な脳部位（歌神経核）で約800個の遺伝子でその読み出しに関わる変異が起こることが分かりました。これは脳内で読み出されている遺伝子の約10%が影響を受けていることを意味します。特に、遺伝子の読み出し調節に関わる因子の性質を変えるtrans（トランス）変異によって、神経機能に関わる遺伝子群が多くの影響を受けていました。

この2種間で異なる読み出し調節に関わる因子として、脳由来神経栄養因子として知られるBDNFを同定しました。実際にBDNF作動薬をキンカチョウの脳内に入れると、トランス変異を受けている遺伝子群の読み出し方が変わりました。また、BDNF作動薬を2週間投与されたキンカチョウは、本来のキンカチョウの特長をもつさえずり歌パターンが崩れて異常な歌を歌うようになることを実験的に検証しました。

なお、本研究成果は2019年11月14日（木）公開のPLoS Biologyに掲載されました。

【背景】

動物行動の進化は、1973年にノーベル賞を受賞したニコラス・ティンバーゲンの「動物行動を理解するための4つの質問」のうちの一つであり、未だ十分な理解が進んでいない研究分野です。動物種間で異なる種特異的行動は、異なる動物種間で遺伝子の読み出し方を制御する配列を変える cis（シス）変異と、遺伝子の読み出し調節に関わる因子の性質を変える trans（トランス）変異によってそれぞれの種のゲノム（遺伝）情報からの読み出し方が異なり、それが脳内で共通にもっている神経回路の性質やその回路内での神経細胞間の連結の仕方を変えていることで起こると考えられています。

しかし、実際の種分化の際に、脳内で働いている遺伝子の中でどれだけの数の遺伝子にシス・トランス変異が起こっているのか、またそれらの変異を受けた遺伝子群の神経分子機能はよくわかっていませんでした。

【研究手法】

今回の研究では、近縁種ではあるが異なった歌をもつキンカチョウとカノコスズメに着目し、脳内の歌の発声に重要な脳部位（歌神経核）で働いている遺伝子群で、それぞれの遺伝子の読み出されている量を次世代シークエンス法によって測定しました。また、キンカチョウとカノコスズメとの間で作り出される F1 ハイブリッド個体の同じ歌神経核で、キンカチョウ由来の遺伝子座とカノコスズメ由来の遺伝子座のどちらから、どれだけの読み出し比があるかも測定しました。この近縁種間での「遺伝子の読み出されている量」とその F1 ハイブリッド個体での「遺伝子座の読み出し比」の2つの情報から、シス変異やトランス変異をもっているのかどうかわかります。

【研究成果】

キンカチョウとカノコスズメとの2種間で、さえずり発声に重要な脳部位（歌神経核）で働いている遺伝子の約 800 個の遺伝子において、そのゲノムからの読み出しに関わる変異が起こっていることがわかりました。これは、脳内で読み出されている遺伝子の約 10%が影響を受けていることを意味します。特に、遺伝子の読み出し調節に関わる因子の性質を変えるトランス変異が、神経機能に関わる遺伝子群に多くの影響を与えていることがわかりました。この読み出し調節に関わる因子として、脳由来神経栄養因子として知られている BDNF を同定しました。実際、BDNF 作動薬をキンカチョウの脳内に投与するとトランス変異を受けている遺伝子群の読み出し方が変わりました。また、BDNF 作動薬を2週間投与されたキンカチョウは、本来のキンカチョウの特長をもつさえずり歌パターンが崩れて異常な歌を歌うようになることを実験的に検証しました。

【今後への期待】

今回の研究から、シス・トランス変異によって、近縁種においても脳内細胞で数百以上の遺伝子の読み出し方が変わっていることがわかりました。また、このような包括的な情報を基にどのような細胞内シグナルや遺伝子発現制御に影響を受けているのかも予測することが可能になりました。このような研究手法は、キンカチョウとカノコスズメとの2種間に限らず、異種間ハイブリッド個体を作り出せる生物種全般に適用可能です。

さらに、異種間のほか、同種内においても個体間でゲノム配列に個人差があることがわかっており、行動の種差のみならず、行動の個体差の研究においてもソングバードを用いた研究が貢献できると考えています。

論文情報

論文名 Transcriptional regulatory divergence underpinning species-specific learned vocalization in songbirds (鳴禽類ソングバードにおける種特異的な歌に関わる遺伝子発現制御の相違)
著者名 WANG Hongdi¹, 澤井 梓¹, 田路矩之³, 杉岡凜太郎¹, 柴田ゆき野¹, 鈴木惟加¹, 早瀬 晋¹, Ji Yu¹, 赤間 悟², 瀬々 潤², 和多和宏³ (¹北海道大学大学院生命科学院, ²産業技術総合研究所創薬基盤研究部門, ³北海道大学大学院理学研究院)
雑誌名 PLoS Biology (生物学全般に関する学術誌)
DOI 10.1371/journal.pbio.3000476
公表日 2019年11月14日(木) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 准教授 和多和宏 (わだかずひろ)

T E L 011-706-4443 F A X 011-706-4443 メール wada@sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.wada-lab.org/>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimuhokudai.ac.jp

【参考図】



図1. キンカチョウ (左), カノコスズメ (右) とそのハイブリッド個体 (中央)