



平成30年9月4日

蘇る（よみガエル）性染色体
～世界で初めてカエルによる性染色体の再生を発見～

【本研究成果のポイント】

- 動物・植物の性染色体は、主に2つの異なる様式、XX-XY型（ヒト型）とZZ-ZW型（トリ型）のどちらかに分けられますが、日本に生息するツチガエル^{注1}はこの2つが同種内に存在する特殊な生物です。この度、近畿地方において、性染色体が異なる2つの集団が過去に接触し、交雑して誕生した新しい集団を発見しました。
- 新集団では、一方の親集団の性染色体^{注2}であるW染色体^{注3}はすでに消失し、その代わり他方のX染色体が新しいW染色体へとリサイクルされたことを明らかにしました。
- このことから、現在退化の途上にあり、やがては消滅する運命にあるとされているヒトのY染色体^{注3}ですが、性染色体は必ずしも退化の一途を辿るのではなく、再生可能であることを世界で初めて示しました。

【概要】

広島大学両生類研究センターの三浦郁夫准教授、横浜市繁殖センターの尾形光昭技術職員、アメリカYale大学のMax Lambert (PhD)、豪州キャンベラ大学のTariq Ezaz教授らの共同研究グループは、日本に生息するツチガエルにおいて性染色体のリサイクル現象を世界で初めて発見しました。

性染色体にはXX-XY型とZZ-ZW型の2つタイプが存在し、動物や植物はこのどちらか1つを有しています。ツチガエルは、同種内に両方の様式を持つ世界的に稀で貴重な生物として知られています。

この度、近畿地方において、異なる性染色体型を持つ2つの集団が過去に交雑し、その結果誕生した新しい集団を発見しました。さらに、遺伝子解析によって性染色体の由来を調べたところ、一方の親集団のW染色体は新集団からすでに消失し、その代わり他方のX染色体が新しいW染色体へと進化したことが明らかになりました。

Y染色体やW染色体は滅亡の運命を辿るとされていますが、本研究はそこに再生の道があることを世界で初めて示すこととなりました。

この研究成果は、2018年8月7日、米国科学雑誌（Wiley）「Molecular Ecology」のオンラインfirst版に一部掲載され、その後、全文が掲載されています。また、本研究成果が掲載された同誌が9月5日に出版される予定です。

【論文に関する情報】

タイトル

Reconstruction of female heterogamety from admixture of XX-XY and ZZ-ZW sex-chromosome systems within a frog species

（和訳：カエルのXX-XY型とZZ-ZW型性染色体型システムの交雑によって再構築されたメス異型配偶子性）

著者名

尾形光昭¹、Max Lambert²、Tariq Ezaz³、三浦郁夫^{3,4*}

- 1) 横浜市繁殖センター
- 2) Yale University, USA
- 3) University of Canberra, Australia
- 4) 広島大学両生類研究センター

*: 責任著者

掲載誌

Molecular Ecology

【背景】

世界的に著名な遺伝学者ジェニファー・グレース博士は、人類の Y 染色体は 500 万年後に消滅するという仮説を提唱しています^{注4}。事実、哺乳類の Y 染色体や鳥類 (ZZ-ZW 型) の W 染色体は退化の途上にあり、遺伝子の数は極端に減少し、壊れていく様子が多くの研究者により観察され、報告されています。ただし、爬虫類、両生類および魚類では、必ずしもそのような性染色体ばかりではなく、健全な Y 染色体や W 染色体を持つ種が多く存在します。特に、両生類では性染色体を一方から他方へと頻りに乗り換える現象が観察されています。その中、日本に生息するツチガエルは、同種内に XX-XY 型と ZZ-ZW 型の 2 つの異なる性染色体型の存在が知られており、しかもその 2 つの集団が近接し、2008 年には、現在まさに交雑している地域が近畿地方に見つかっていました。

【研究成果の内容】

ツチガエルは、2 つの性染色体型の XX-XY 型と ZZ-ZW 型が同種内に存在します。そして、両者の性染色体はお互いに相同です (第 7 番目の染色体; 図 2)。

この度、近畿地方の交雑地域一帯を含む地域に生息するツチガエル 32 集団について、性染色体型、ミトコンドリア遺伝子および核ゲノムの遺伝子解析を行いました。この結果、過去に 2 つの異なる染色体型の集団が交雑し、その結果誕生した新しい集団を発見しました。さらに、この集団の性染色体上の遺伝子を網羅的に解析したところ、一方の親集団の W 染色体はすでに消失し、他方の X 染色体が新たな W 染色体として進化している (置き換わっている) ことがわかりました。そこで、過去に生じた 2 つの集団の交雑を人為的交配によって再現したところ、集団の性比の崩れの可能性が確認されました。

以上から、交雑によって生じた性比の崩れが性染色体のリサイクルを誘導したと考えられます。本研究の成果によって、性染色体の Y 染色体や W 染色体の運命は退化し消滅するだけでなく、他の染色体資源をリサイクル利用して再生し得ることを世界で初めて明らかにしました。

【今後の展開】

今後、ツチガエルの X 染色体から W 染色体への進化のメカニズムや、性染色体のリサイクルを可能にした分子基盤の解明を進めることにより、性染色体の再生のしくみが明らかになると期待されます。

ツチガエルの研究成果は、性染色体の進化について、ヒトやトリにおける成果が必ずしも生物全体の現象を説明できるわけではないことを示しており、性染色体の進化論に新しい視点を与えることとなります。一方、性の解釈にも様々な選択肢や可能性があることを示唆しています。本種にはさらに多くのユニークな現象が潜んでいます。例えばオスとメスの両方の性を決定する遺伝子、XY 型と ZW 型の相互変換、性染色体の形が変わる理由、そして国内に隠された新しい集団など、今後もその解明に向けて研究を継続していきます。

【番外編：関ヶ原のカエル合戦】

ツチガエルの ZW 型の集団は西側、XY 型の集団は東側に分布しています。現在、この両者が交雑している地域が近畿地方の琵琶湖と鈴鹿山脈の間にあります。この交雑を戦いと称するならば、東西のカエル合戦がこの地域で繰り広げられていることとなります。ここで注目すべきは関ヶ原です。図 3 の番号 2 の集団が関ヶ原で、ゲノム解析の結果、ここには西側のゲノムがすでに侵入しつつあることがわかりました。豊臣・徳川家による天下分け目の合戦から四百年あまり、今まさに、関ヶ原のカエル合戦が始まったばかりです。ところが、本研究成果の予言するところは、戦国時代とは逆、つまり西側の勝利です。果たして、合戦後、カエルの将来には長く平和な時代が約束されるのかが注目されます。

【参考資料】

■用語解説

(注1) ツチガエル (図1)

我が国の固有種。本州、四国、九州と離島に生息し、澄んだ山水を必要とする背中全体が土色のカエル。性決定様式や性染色体に特有の多様性を示す。XY型とZW型の集団に加え、両者の元祖集団も現存し、まさに性決定様式の進化の途上にある。世界で最も注目されるカエルの一つである。



図1 ツチガエル (写真提供：檜垣俊忠氏)

(注2) 性染色体

オスないしメスの性を決める遺伝子が乗っている染色体を性染色体と呼ぶ。それ以外の染色体は常染色体と呼ばれる。

(注3) Y染色体とW染色体

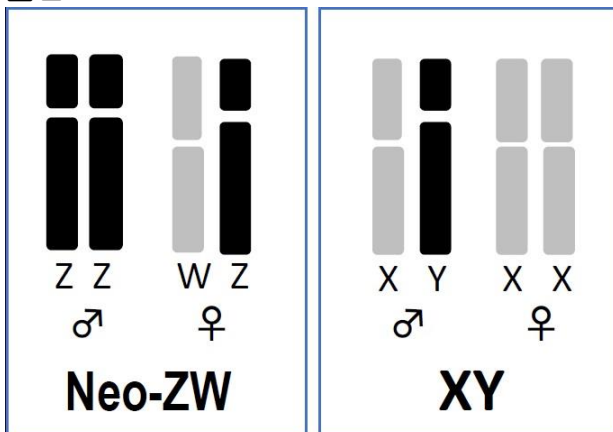
性染色体には大きく2つのタイプがあり、一つはヒトに代表される♀XX-♂XY型、もう一つはトリに代表される♀ZW-♂ZZ型である。前者のタイプでは、オスを決定するのがY染色体でこれはオスにのみ存在し、後者ではメスを決定するのがW染色体でメスにのみ存在する。

(注4) YやW染色体の退化と消滅

Y染色体がX染色体との乗り換えが抑制されると、遺伝子が壊れ始め、染色体全体が退化に向かう。哺乳類のY染色体は1億6千万年あまりをかけておよそ9割の遺伝子を失った。単純な比例計算では、あと500万年でヒトのY染色体が消失するという仮説が提唱されている。事実、日本の徳之島と奄美大島に生息するトゲネズミや欧州のハタネズミはすでにY染色体を失っている。同様に、ZW型のW染色体も退化を続け、消滅が予想される。

2つの異なる性染色体型 (図2)

図2

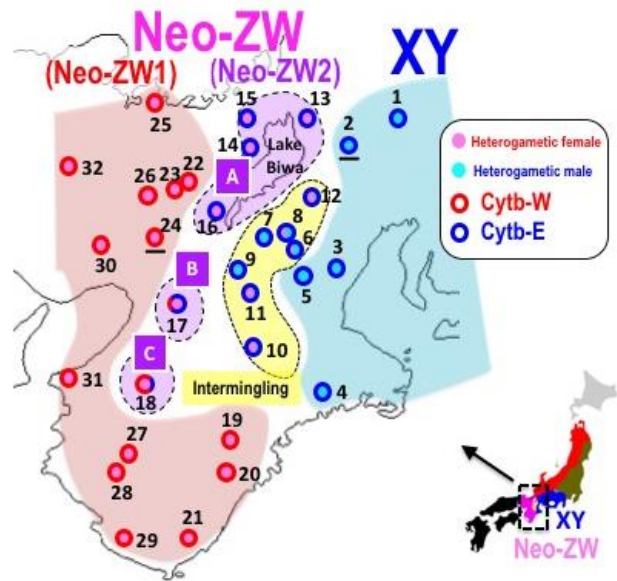


Neo-ZW 集団は♂ZZ-♀ZW 型の性染色体、XY 集団は♂XY-♀XX 型の性染色体を持つ。ツチガエルの染色体数は $2n=26$ (13 対) でいずれの性染色体も第7番目の染色体でお互いに相同である。同じ形のZ染色体とY染色体を黒色、W染色体とX染色体を灰色で示す。

近畿地方におけるツチガエルの性染色体型が異なる集団とその交雑地帯（図3）

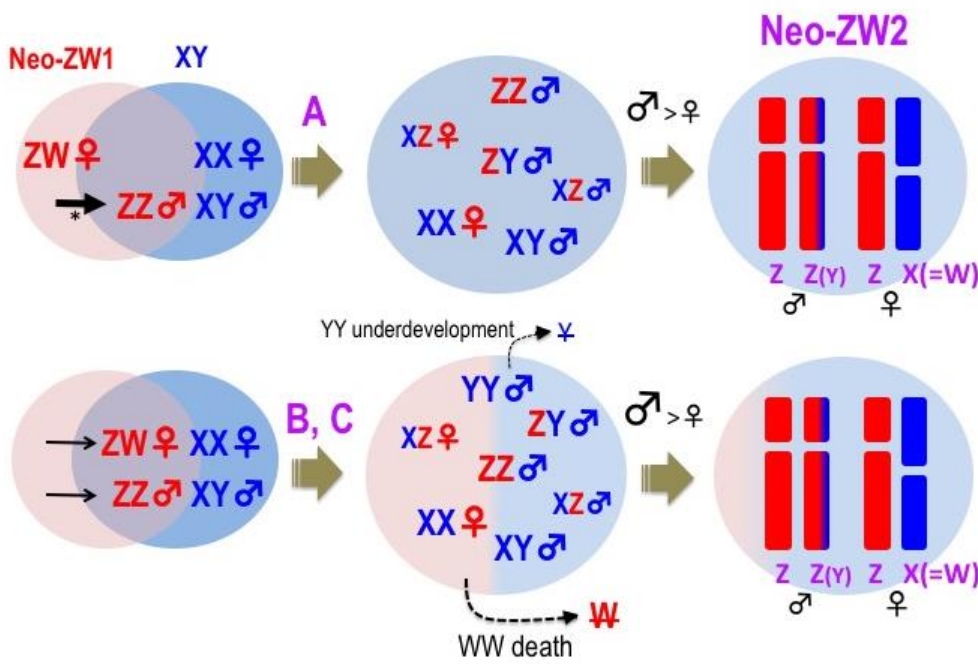
図3

性染色体型が ZW 型の Neo-ZW 集団（赤と紫）、XY 型の XY 集団（青）、そして両者の交雑地帯（黄色）を示す。Neo-ZW2 集団（紫）は ZW 型集団と XY 型集団の交雑を起源とし、性染色体型が ZW 型に収束した新しい集団である。ここでは元の集団を Neo-ZW1（赤）として区別してある。円は調べた集団を示し、円の中心の色は性染色体型（ZW 型は赤、XY 型は青）を示し、円の外枠の色はミトコンドリアのタイプ（赤は西側の Cytb-W、青は東側の Cytb-E）を示す。さらに、Neo-ZW2 集団はミトコンドリアの東側タイプの出現比率によって、A, B, C の3つに分けてある。右下には日本全体のツチガエルの主要5集団を示す（黒色は西日本、グレーは東日本、赤は東北日本海の ZW 集団）。



新しい集団(Neo-ZW2)の形成シナリオと性染色体組成（図4）

図4



Neo-ZW1 と XY 集団が交雑し、新たに Neo-ZW2 が誕生した。その際、Neo-ZW1 のオス (ZZ) だけが XY 集団へ侵入したケース (A) と雌雄が共に侵入したケース (B と C) に分けてある。いずれも最終的には XY 集団由来の X 染色体が新しい W 染色体へと進化した。Neo-ZW1 の性染色体を赤、XY の性染色体を青で示す（文字ないし染色体の模式図）。円の塗りつぶしの色は集団におけるミトコン

ドリア遺伝子のタイプ（赤は西の Cytb-W、青は東の Cytb-E）を示す。なお、ケース A も B や C と同様、ZW メスが交雑に参加し、最終的に元の W 染色体が消失した可能性はある。しかし、今回、Neo-ZW1 から ZW メス参加の痕跡を得ることができなかったため A は B や C と区別した。

【お問い合わせ先】

広島大学両生類研究センター 三浦郁夫
 TEL : 082-424-7323 FAX : 082-424-0739
 E-mail : imiura@hiroshima-u.ac.jp
 発信枚数 : A 4 版 4 枚 (本票含む)