

頭でっかちな精子は卵に入れない？

～精子の頭部サイズが受精や雌性発生の成功に寄与することを発見～

ポイント

- ・精子頭部の大きさが、受精や雌性発生（母親ゲノムのみによる発生）に影響を与えることを発見。
- ・遠縁種の精子を用いて生存可能な雌性発生魚の作出に成功。
- ・水産育種における遠縁種の精子を用いた雌性発生技術の応用に期待。

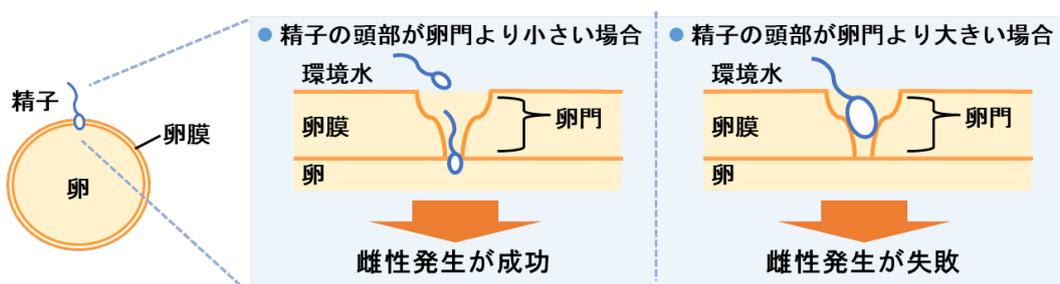
概要

北海道大学大学院水産科学院博士後期課程2年の竹内 萌氏、川村祥史氏（研究当時修士課程2年）、博士後期課程3年の荒井那允氏、同大学大学院水産科学研究所の西村俊哉助教、藤本貴史教授、井尻成保准教授、同大学北方生物圏フィールド科学センターの高橋英佑技術専門職員、山羽悦郎名誉教授（研究当時教授）らの研究グループは精子の頭部の大きさが魚の雌性発生の成功に寄与することを明らかにしました。

一般的に有性生殖を行う生物では、卵と精子が受精¹することで、母親と父親のゲノム情報を持った個体が誕生します。一方、卵の中の母親ゲノムのみで発生を進行させる現象が自然界でも起こり、これを雌性発生と言います。例えば、日本人に馴染みのあるフナの多くは雌性発生を行い、集団のほとんどがメスで構成されています。雌性発生は有性生殖を行う魚種においても人為的に誘起することが可能で、水産育種において、メスの商品価値が高い魚の全メス生産に利用されています。人為的な雌性発生では、発生開始に精子による受精刺激が必須のため、紫外線照射によって父親ゲノムを不活性化した精子を卵に人工授精させ、母親ゲノムのみで発生を進行させます。しかしながら、雌性発生を引き起こす精子の特性については着目されていませんでした。そこで、研究グループは、メダカと遠縁の複数の魚種の精子を用いて、雌性発生の成功に寄与する精子の要因について調査しました。

紫外線照射によって父親ゲノムを不活性化したティラピア、ニジマス、キンギョ、ゼブラフィッシュ、ドジョウ精子とメダカの卵を人工授精させたところ、ティラピアとニジマスの精子のみがメダカの雌性発生を誘起でき、そのメダカ胚は生存可能であることが明らかとなりました。さらに、精子の形態を観察するとティラピアとニジマスの精子の頭部サイズは、キンギョやゼブラフィッシュ精子よりも小さいことが分かりました。魚の卵は卵膜という薄い膜に保護されており、精子が卵に到達するための卵門と呼ばれる小さな穴が開いています。そこで、卵門サイズと精子の頭部サイズを比較したところ、雌性発生を誘起できたティラピアとニジマスの精子の頭部サイズは、メダカの卵門よりも小さいことが判明しました。

本研究で、遠縁種の精子を用いて生存可能な雌性発生魚の作出に成功しただけでなく、卵門に対する精子の頭部サイズという物理的要因が受精や雌性発生に影響を与えることを見出しました。これらの成果により、限られた時期にしか精子が取れない魚や個体サイズが小さく精子の採取が困難な魚における雌性発生の効率化が期待できます。なお、本研究成果は、2024年10月18日（金）公開の *Aquaculture* 誌に掲載されました。



本研究の
概念図

【背景】

有性生殖を行う生物は、卵と精子の受精により母親と父親のゲノム情報を持つ次世代を誕生させます（図 1A）。一方で、卵の中の母親ゲノムのみで発生が進む雌性発生によって、子孫を残す生物も存在します。例えば、日本各地の池や河川に生息するギンブナは、雌性発生を行い、集団のほとんどがメスで構成されます。雌性発生は有性生殖を行う魚種でも人為的に引き起こすことが可能で、この技術は水産育種において利用されています。魚類の中には、卵が美味であることやオスよりも早く成長するために、メスの付加価値が高い種が存在します。このような魚種において人為的な雌性発生による全メス生産は有用な技術です。

人為的に雌性発生を引き起こすためには、紫外線を照射し父親ゲノムを不活性化させた精子を人工授精に用います。有性生殖を行う生物の多くは、母親と父親由来の 2 セットのゲノムを持つ二倍体ですが（図 1A）、父親ゲノムを不活性化した精子との人工授精によって生じた雌性発生胚は、そのままと母親由来の 1 セットのみゲノムを持つ単数体になります（図 1B）。単数体は胚性致死なので、温度処理や圧力処理によってゲノムセットを倍加させ、生存可能な雌性発生二倍体が作られます（図 1B）。人為的な雌性発生技術の開発に向けて、これまで二倍体化処理の条件検討は多くされてきましたが、雌性発生に影響を与える精子側の要因については多くが不明でした。

魚の卵は卵膜という薄い膜に保護されており、精子が卵に到達するための卵門と呼ばれる小さな穴が開いています。受精の過程で、精子は卵門を通過して卵に侵入し、その後の発生が進みます。卵門の構造やサイズ、及び、精子頭部の形状やサイズは種によって異なりますが、両者の関係が雌性発生に与える影響については着目されていませんでした。そこで、研究グループは、メダカとは系統的に遠縁な複数の魚種の精子を用いて、受精や雌性発生の成功に寄与する精子の要因を探索しました。

【研究手法】

紫外線照射して父親ゲノムを不活性化させたティラピア、ニジマス、キンギョ、ゼブラフィッシュ、ドジョウの精子をメダカの卵と人工授精させ、雌性発生の成功率を調査しました。ティラピアの精子と人工授精させた卵は、受精を確認した後に熱処理を行い、雌性発生二倍体の誘起を試みました（図 2A）。また、各魚種の精子を顕微鏡観察し、さらに、画像解析ソフト ImageJ を用いて精子頭部のサイズを測定しました。その際、数千以上の精子の頭部サイズを自動で測定できるプログラムを開発しました。

【研究成果】

父親ゲノムを不活性化させたティラピアとニジマスの精子はメダカ卵と受精可能であり、雌性発生を誘起できました（図 2B）。さらに二倍体化処理を行ったメダカ胚は生存が可能でした（図 2B）。一方、キンギョ、ゼブラフィッシュ、ドジョウの精子はメダカ卵と受精せず、雌性発生を誘起できませんでした。精子の形態を観察するとティラピアとニジマスの精子の頭部サイズは、キンギョやゼブラフィッシュよりも小さいことが分かりました（図 3A）。

そこで、卵門サイズと精子の頭部サイズを定量的に比較したところ、雌性発生を誘起できたティラピアとニジマスの精子の頭部サイズは、メダカの卵門よりも小さいことが判明しました（図 3B）。一方で、キンギョ、ゼブラフィッシュの精子の頭部サイズはメダカの卵門よりも大きいことが分かりました（図 3B）。さらに、ドジョウの精子の頭部サイズはメダカの卵門よりも小さいものの、時間経過とともに頭部サイズがメダカの卵門よりも大きくなることが明らかになりました。

これらの結果から、従来は見逃されていた精子の頭部サイズという物理的な要因が雌性発生に影響を与えることが分かりました。

【今後への期待】

魚の雌性発生には、近縁種や同種の精子が用いられることが一般的でしたが、本研究では、遠縁種の精子を用いて生存可能な雌性発生魚の作出に成功しました。このことは限られた時期にしか精子が取れない魚や個体サイズが小さくて精子の採取が困難な魚における雌性発生技術の効率化に貢献できます。

さらに本研究で開発した画像解析ツールでは、数千以上の精子の頭部サイズを自動で測定可能なため、精子の物理的特性の解明や雌性発生の成功率の予測につながります。

【謝辞】

本研究成果は、日本学術振興会科学研究費助成事業基盤研究 B(課題番号:JP21H02277、JP24K01846)、科学技術振興機構 創発的研究支援事業(課題番号:JPMJFR210D)の支援を受けて実施されました。

論文情報

論文名	The size of the sperm head influences the gynogenetic success in teleost fish (精子の頭部サイズが魚の雌性発生の成功に影響を与える)
著者名	竹内 萌 ¹ 、川村祥史 ¹ 、荒井那允 ¹ 、井尻成保 ² 、高橋英祐 ³ 、山羽悦郎 ³ 、藤本貴史 ² 、西村俊哉 ² (¹ 北海道大学大学院水産科学院、 ² 北海道大学大学院水産科学研究院、 ³ 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター七飯淡水実験所)
雑誌名	Aquaculture (水産養殖学の専門誌)
DOI	10.1016/j.aquaculture.2024.741768
公表日	2024年10月18日(金)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院水産科学研究院 助教 西村俊哉 (にしむらとしや)

T E L 0138-40-5535 メール tnishi@fish.hokudai.ac.jp

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒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 jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

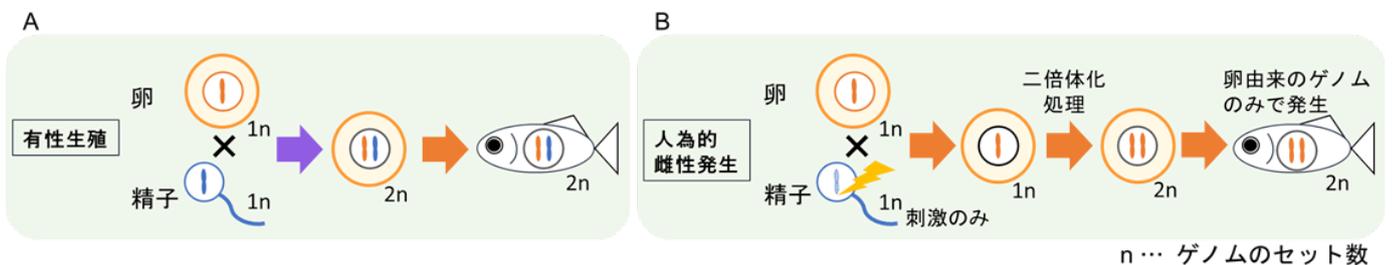


図 1. 有性生殖と人為的な雌性発生の概要

(A) 有性生殖の様式。卵 (1n) と精子 (1n) が受精し、卵核と精子核が融合して二倍性 (2n) の受精卵ができる。(B) 人為的雌性発生の様式。紫外線照射して父親ゲノムを不活性化した精子と卵が受精して、卵由来の核のみを持つ単数性 (1n) の受精卵ができる。これに二倍体化処理を行うことで、生存可能な二倍体 (2n) が作出される。

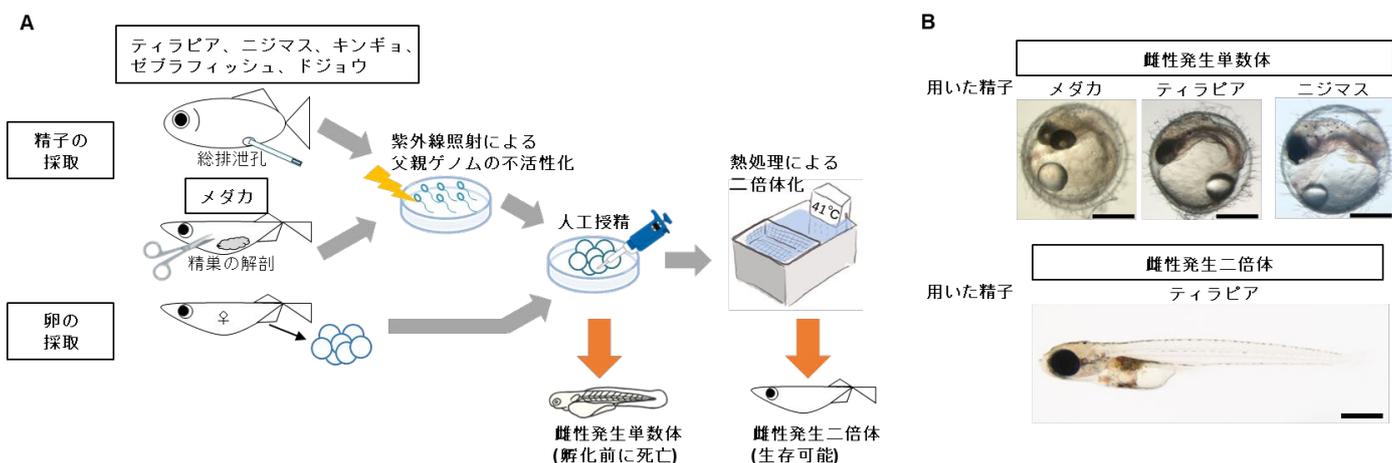


図 2. メダカの雌性発生胚の作出

(A) メダカの雌性発生は、紫外線照射して父親ゲノムを不活性化した精子と卵を掛け合わせて行った。この方法で作出した胚は単数体であり、胚性致死となる。そこで熱処理による二倍体化を行い、生存可能な二倍体を作出した。(B) メダカ、ティラピア、ニジマスのゲノムを不活性化した精子を用いたメダカの雌性発生単数体と、ティラピアのゲノムを不活性化した精子を用いたメダカの雌性発生二倍体。雌性発生単数体は、発生異常により孵化前に死んだが、雌性発生二倍体は正常に発生・孵化した。

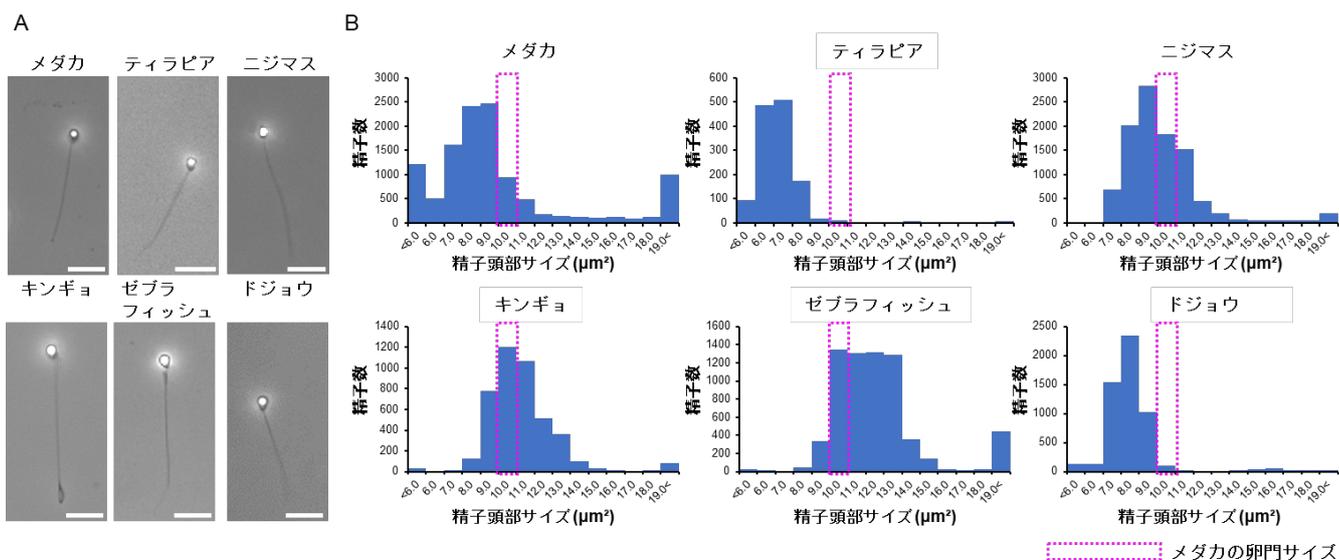


図 3. 各魚種の精子の画像

(A) 雌性発生の実験に用いた魚種の精子画像。白く丸い領域が精子の頭部。(B) 各魚種の精子の頭部サイズを測定した分布図。桃色の枠で囲った箇所がメダカの卵門のサイズを示しており、ゼブラフィッシュとキンギョの精子の頭部サイズは他の魚種に比べて大きかった。

【用語解説】

*1 受精 … 精子が卵門を通過して卵に侵入した後に、精子の頭部の膜と卵の細胞膜が融合し、精子の頭部に含まれていた核と卵の核が融合して一つの核になることを示す。雌性発生の場合、精子核と卵核は融合しないので有性生殖における通常の受精とは異なるが、本文中では、精子が卵門を通過して雌性発生の引き金を引く過程に対しても受精という用語を用いた。