

2024年4月23日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

「負けて勝つ」ミジンコの長期共存戦略

【発表のポイント】

- 競争関係にある絶対単為生殖型^(注1)ミジンコ種の2集団が、山地湖でなぜ長期共存できるのか、9年に渡る調査と実験により明らかにしました。
- 競争劣位集団は競争相手の増加を察知し、集団が全滅する前に休眠卵^(注2)をすばやく生産していました。一方、競争優位集団は休眠卵生産の時期が遅れるため、休眠卵生産前に魚などに食われてしまう可能性があります。
- 競争劣位集団は短期的な競争に負けて一時的に排除されたとしても、休眠卵を生産することで集団の長期的な存続を可能にしていることがわかりました。

【概要】

競争と共存の解明は、生物学の重要課題の1つです。絶対単為生殖型の生物種は独立した複数の集団を形成しますが、生活に必要な資源が似ているため、互いに競争関係にあり、棲み分けなければ長期共存は不可能と考えられてきました。

東北大学大学院生命科学研究科の丸岡奈津美博士（現:宇都宮大学 博士研究員）と占部城太郎教授（現:名誉教授）らのグループは、9年間に渡る山地湖での調査と実験により、絶対単為生殖型ミジンコ種の2集団が、一方が他方を排除する強い競争関係にあるにもかかわらず、長期的に共存していることを発見しました。さらにその共存は、生息場所や季節のすみわけではなく、競争に負けてしまう集団が競争相手の増加を察知し、排除される前に休眠卵をすばやく生産することで実現していることを明らかにしました。

休眠は不適な季節を乗り切るための戦略と考えられてきました。本研究は、それだけでなく、競争を回避するためにも休眠を利用していることを動物で示した初めての研究です。本研究成果は2024年4月8日に国際誌 *Functional Ecology* で公開されました。

【詳細な説明】

研究の背景

生物の多種共存は生態学のみならず、広く生物学における重要な関心事の 1 つです。植物から動物に至る多くの生物種で、有性生殖をせず単為生殖だけで集団（個体群）を形成する生物が見つかっています。このような集団は、同種であっても他個体と交雑しないことから絶対単為生殖集団と呼ばれ、種内で遺伝的に独立した集団を形成します。それら集団間では、同種であるために生息場所や餌などが同じであり、競争が激化します。それにも関わらず、同種の複数の絶対単為生殖集団が 1 つの生息地で繁殖し生息していることがあります。この現象が生じる理由として、集団間で好む生息環境が少しずつ異なり、しかも生息地内に異なる環境がある、すなわち生息地の不均一な環境を利用してすみわけているためだろうと説明されてきました。しかし、その説明の妥当性や、遺伝的に異なる複数の絶対単為集団が本当に長期的に共存しているのかどうかは明らかではありませんでした。

ミジンコ類は湖沼に生息する代表的な動物プランクトンです。日本に生息する和名ミジンコ (*Daphnia cf. pulex*) は、北米大陸からの侵入種で、有性生殖をしない絶対単為生殖型の種であることがわかっています(参考文献 1)。本研究では、山形県の山地湖、畑谷大沼において、9 年間に渡ってミジンコ (*Daphnia cf. pulex*) の 2 つの絶対単為集団の動態を調べるとともに、室内での競争実験および休眠卵生産実験を実施し、これら 2 集団が実際に長期的に共存しているのか、また、そうであればなぜ共存できるのかを調査しました。

今回の取り組み

絶対単為生殖型のミジンコ集団が複数存在していても、同じ種であるため形態的に識別することは出来ません。そこで、遺伝的手法を用いて山形県畑谷大沼の集団を調べたところ、互いに交雑していない 2 つの集団 (JPN1, JPN2) の生息が確認できました (図 1)。そこで、この 2 集団の個体群動態を 9 年間に渡って調査しました。その結果、プランクトン生活をしている個体数は JPN1 集団が常に多いものの、両集団はほとんどの年で、ともに春に出現し、秋になる前にはいなくなっていました (図 2)。また、生息している水深層も同じでした。つまり、2 集団の間では、季節的にも空間的にも生息場所に違いは見られませんでした。しかし、実験室で実施したプランクトンの競争実験では、JPN2 集団は JPN1 集団によって競争的に常に排除されてしまうことがわかりました。これらの結果から、餌をめぐる競争に JPN2 集団は劣位であり、競争に優位な JPN1 集団との共存には何らかの戦略を用いていると考えられました。

ミジンコ類は、不適な環境を乗り越えるために休眠卵を産卵します。産み出された休眠卵は湖底に沈み、環境が良くなると孵化して繁殖し、プランクトン生活をする集団を形成します。畑谷大沼では、秋から冬にかけてプランクトン生活をするミジンコがいなくなり、毎年春になると休眠卵から孵化した個体が

繁殖して、プランクトン集団を形成します。そこで、湖底に堆積していた休眠卵を採集して遺伝解析したところ、プランクトンとして採集される個体は JPN1 集団のほうが常に多いにも関わらず、休眠卵数には両集団間で差はありませんでした。この結果は、JPN2 集団のほうが個体あたりの休眠卵生産数が多いことを示しています。実際、競争実験においても JPN2 集団は、競争的に排除される前にすばやく休眠卵を生産していました。

そこで、それぞれの集団を濃密に飼育した飼育水をろ過し、それを飼育水として用いた実験をおこなったところ、JPN2 集団の個体は、JPN1 集団を濃密に飼育した飼育水で即座に休眠卵生産を開始し、しかも自身の集団を濃密に飼育した飼育水の場合よりも多くの休眠卵を産みました。一方、同様の条件下では、JPN1 集団の個体で休眠卵の生産増加は見られませんでした（図 3）。この結果から、競争劣位者である JPN2 集団は休眠卵生産の開始刺激に対する感受性が高く、しかも水中に溶けていた物質を介して競争者の増殖を察知する能力に秀でていることがわかりました。

これらの結果は、競争に劣位な JPN2 集団が、競争に優位な JPN1 集団と長期に渡って共存できるのは、競争者の増加を察知し、排除される前に休眠卵を産むことで翌年以後の個体群を形成できるためであることを示しています。一方、個体数のうえで JPN2 集団を凌駕する JPN1 集団は、休眠卵生産の時期が遅れます。夏季になるとミジンコを餌として好む魚類の活動が活発化し、休眠卵を産む前に魚などに食われてしまう危険性が高まります。休眠卵を残せなければ、競争に勝ったとしても、将来的な集団の存続は危ぶまれます。このように、不確かな環境変動の元では休眠卵を生産することが、長期的に生き残れる戦略と考えられます。短期的な競争に劣位であっても、競争優位者の存在を察知して休眠卵を多く残すことで、長期的な競争には勝利する可能性があると考えられます。

今後の展開

競争優位集団が水中に放出した何らかの物質を通じて、競争劣位集団は休眠卵の生産を開始する、という結果は水生生物が水中に溶けている様々な物質を用いて他種や環境変化を察知していることを示唆しています。その物質やそれを察知する機構はまだ良くわかっていません。また、同種でありながら休眠卵生産のタイミングや開始刺激が、集団もしくは遺伝子型間でなぜ異なるかも不明です。現在、このような違いが生じる機構や分子的なメカニズムについて研究を進めています。また、これまで、生物の休眠は不適な環境を乗り越える形質として捉えられてきましたが、休眠卵生産が競争による絶滅を回避するなど、多様な生物の共存にも重要であることから、休眠の生態的意義や進化、その分子機構などの研究展開が加速すると期待されます。

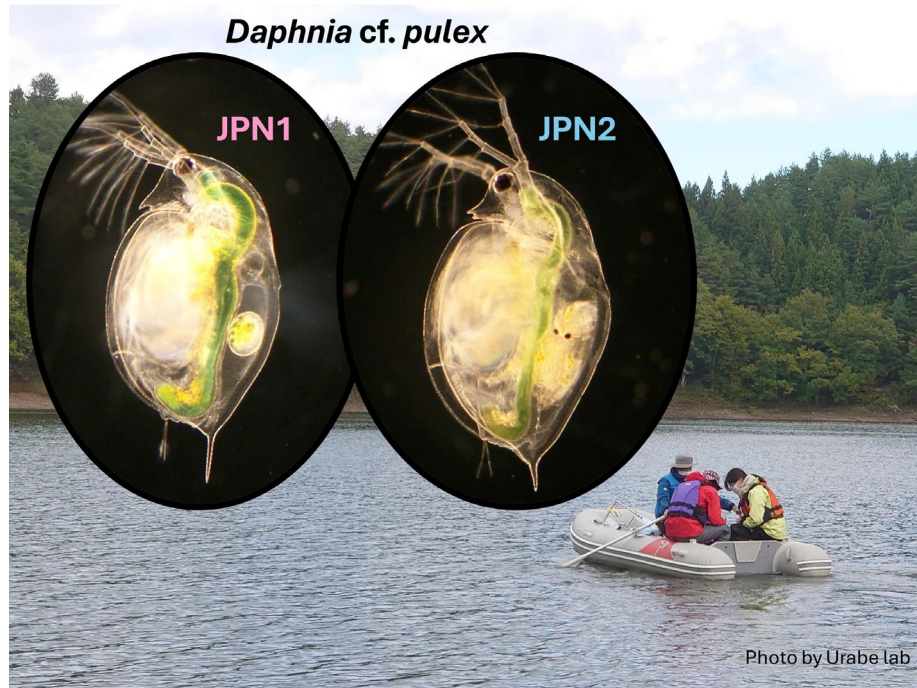


図 1. 畑谷大沼での調査風景と
ミジンコ (*Daphnia cf. pulex*) JPN1・JPN2 集団の個体



図 2. 畑谷大沼におけるミジンコ 2 集団の個体群動態
JPN1 集団と JPN2 集団の (a) プランクトン個体数と (b) その割合。2 集団は 9
年間に渡って存続し、同じ季節に出現していた。

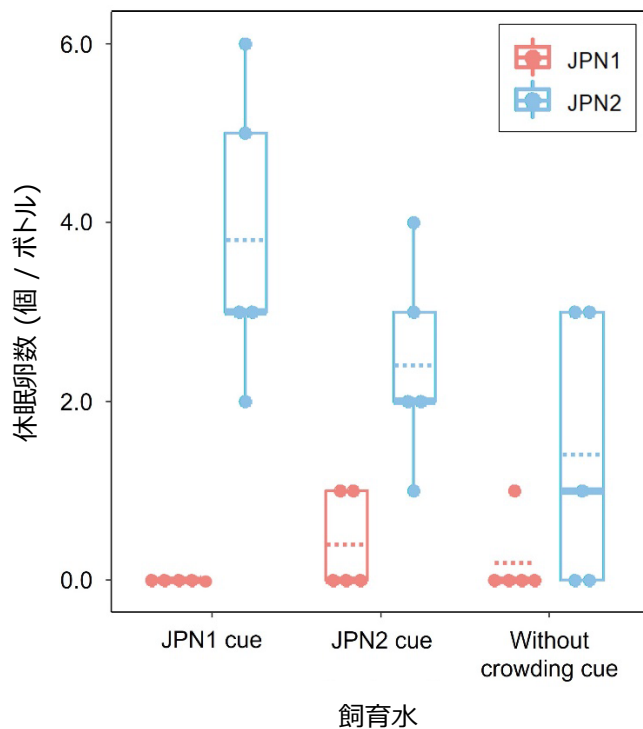


図3. JPN1 と JPN2 集団を濃密に飼育した飼育液をろ過し、その濾液 (cue) を用いて飼育した際の両集団の休眠卵生産数

JPN2 集団は JPN1 集団に比べて多くの休眠卵を産んでおり、特に JPN1 集団を飼育した水で飼育すると生産する休眠卵数は増加した。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 (Grant Number: JP16H02522, JP20H03315, JP23H02548, JP19J21014, JP22J00738) の支援を受けて行われました。

【参考文献】

1. 2015 年 4 月 7 日付東北大学プレスリリース『ミジンコはたった 4 個体を起源とする北米からの帰化種だった』

<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2015/04/press20150407-01.html>

元論文：

Mika So, Hajime Ohtsuki, Wataru Makino, Seiji Sshida, Hitoshi Kumagai, Yamaki G. Kenyu, and Jotaro Urabe. (2015) Invasion and molecular evolution of *Daphnia pulex* in Japan. *Limnology and Oceanography*, 60:1129-1138. DOI: 10.1002/lno.10087

【用語説明】

注1. 絶対単為生殖型

単為生殖とは雌が単独で子を残すことですが、絶対単為生殖型の生物では有性生殖は行わず、単為生殖のみで子を残します。こうした生活環を持つ種は植物や爬虫類、動物プランクトンなど広い分類群で見られます。一般的にミジンコ属は有性生殖と単為生殖をどちらも行う生活環を持ちますが、日本に生息する本種 *Daphnia cf. pulex* (和名：ミジンコ) は絶対単為生殖

型であることがわかっています。

注2. 休眠卵

ミジンコ属が休眠のために作る卵のことです。ミジンコは環境の良い時には、すぐに発生の進む「急発卵」と呼ばれる卵を作り、個体群を増殖させます。一方、環境の変化に応じて作られる休眠卵は、植物の種子のように耐乾性のある殻に包まれており、すぐには孵化しません。休眠卵は土壌中に維持され、環境が好転すると孵化し、再び個体群を形成します。

【論文情報】

タイトル : To lose is to win: Long-term co-occurrence of two asexual populations realized by a dormant strategy of the inferior competitor

著者 : Natsumi Maruoka*, Kenyu Yamaki, Wataru Makino and Jotaro Urabe*

*責任著者 : 東北大学大学院生命科学研究科 丸岡奈津美

(現:宇都宮大学バイオサイエンス研究教育センター 博士研究員)

*責任著者 : 東北大学大学院生命科学研究科 教授 (現:名誉教授) 占部城太郎

掲載誌 : Functional Ecology

DOI : 10.1111/1365-2435.14551

URL: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14551>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科

名誉教授 占部城太郎

(うらべじょうたろう)

Email: urabe@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学生命科学研究科広報室

高橋さやか

TEL: 022-217-6193

Email: lifsci-pr@grp.tohoku.ac.jp