



東北大学

報道機関 各位

平成 27 年 04 月 07 日

東北大学大学院生命科学研究科

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
— 日本に生息する生物の意外な由来 —

【研究概要】

東北大学大学院生命科学研究科の占部城太郎教授の研究チームは、理科の教科書にも掲載されている和名ミジンコ(*Daphnia pulex*: 写真)が、有性生殖能力を失い雌だけで世代を維持していること、遺伝的多様性が極めて乏しくたった 4 タイプの遺伝子型(クローン個体)しか分布していないこと、それらすべてが別のミジンコ種との雑種であること、在来種ではなく北米から侵入した外来種であることを明らかにしました。また詳細な遺伝解析から、日本への侵入時期が数百~数千年前に遡ることがわかりました。外来種の侵入定着は殆どの場合近年の人間活動によるものですが、数百年前の侵入は人間活動では説明出来ません。人の往来が盛んになる前にたった数個体がどうやって北米からやって来たのか、また、遺伝的な多様性がきわめて低いにもかかわらずなぜ長期間にわたって日本で個体群を維持しているのかなど、進化生態学の多くの謎を投げかけています。



本研究成果は、2015 年 3 月 30 日付けで、陸水・海洋学の国際雑誌 *Limnology and Oceanography* 電子版に掲載されました。

【背景】

日本の湖沼には多くのミジンコ種が生息していますが、その中で和名ミジンコ(学名 *Daphnia pulex*: 写真)は代表的な動物プランクトンで理科の教科書にも掲載されています。ミジンコは、1~2 週間で成長し、成熟すると普段は雌だけで子を産む単為生殖によって繁殖します。しかし、餌不足など環境が悪化すると雄を産んで有性生殖を行い、乾燥などにも耐えられる休眠卵を産卵します。このような、普段は単為生殖を行い環境が悪化すると有性生殖を行う生活環は、循環単為生殖と呼ばれています。

ミジンコの研究は世界的にも古く 16 世紀まで遡りますが、日本での研究も古

く、日本に初めて進化論を紹介した旧東京帝国大学の石川千代松（初代上野動物園長）が 1895 年に東京浅草の水田でミジンコを採集し、当時の東京帝国大学教授のエドワード・モースに因んで *Daphnia morsei* と命名し記載しました。これは、日本に生息している生物はすべて日本特有の種であろうという当時の知識的背景によるものです。しかし、日本でも分類学が進展するにつれ、後の 1926 年、その種は北米や欧州にも広く分布している *Daphnia pulex* であろうと京都帝国大学の上野益三博士により修正されました。

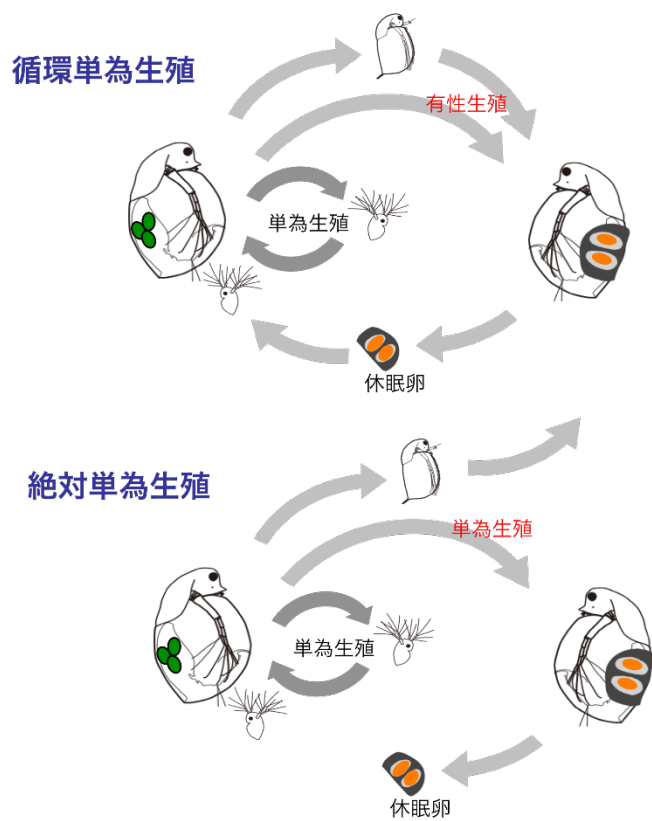
このように *Daphnia pulex* は日本を含む北半球に広く分布していると長く考えられていました。しかし、近年、遺伝子情報を用いた解析から *Daphnia pulex* と称する生物は単独の種ではなく、少なくとも 8 種以上の種を含んでいることが判明しました。ところが、日本のミジンコはこのうちの種類に相当するのか、あるいは日本固有種なのか、よくわかっていませんでした。そこで、占部城太郎教授、宋美加修士大学院生（平成 25 年当時）、牧野渡助教、大槻朝研究員らの研究チームは日本国内の 300 カ所以上に及ぶため池や湖で調査を行い、採集したミジンコのミトコンドリア DNA と核 DNA の遺伝情報を解析しました。

【主な研究成果】

日本全域の池沼で採集されたミジンコのミトコンドリア DNA の塩基配列を調べたところ、4 タイプのミトコンドリア遺伝子型が存在し、いずれも北米に生息するミジンコと良く似た塩基配列を持っていることがわかりました。そこで、核 DNA についても解析したところ、それぞれのタイプのミトコンドリア遺伝子型にはたった 1 つの核遺伝子型しかないことが判明しました。また、すべての個体が、北米に産し、日本には生息していない *Daphnia pulicaria* という別のミジンコ種との雑種個体であることもわかりました。一般に、有性生殖を行っていれば、雄由来と雌由来の DNA を持つさまざまな組み合わせの核遺伝子型の個体がいるはずですが、ミトコンドリア遺伝子型ごとにたった 1 つの核遺伝子型しか存在しないことは、日本に広く生息しているミジンコが有性生殖を行わない絶対単為生殖で、たった 4 個体に由来するクローン生物であることを示しています。実際、研究チームが飼育実験を行ったところ、飼育したすべてのミジンコについて、雄と交尾することなく休眠卵を産むことが確かめられました。

先行研究によれば、北米には突然変異で生じた有性生殖能力を失った絶対単為生殖型のミジンコが生息し、北米大陸で分布を広げていることがわかっています。絶対単為生殖型のミジンコは雄を産むことが出来、この雄が有性生殖を行う循環単為生殖型のミジンコと交尾すると 1:1 の頻度で絶対単為生殖ミジンコが生まれます。すなわち、有性生殖を行わない絶対単為生殖型の雌から産まれた雄が、有性生殖を行う循環単為生殖型のミジンコを絶対単為生殖型へと変えていると考えられています。雌だけで繁殖する集団が、雄による遺伝形質の伝搬によって造られて行くのはなんとも皮肉です。

今回の研究で明らかとなった日本に生息しているミジンコは、遺伝的に北米産のミジンコと同じであること、いずれも絶対単為生殖型であり国内で有性生殖を行った形跡がみられないこと、本来日本には生息しない雑種であることから、固有の種ではなく北米からの帰化種、いわゆる外来種であると結論づけることが出来ます。



では、ミジンコはいつ日本にやってきたのでしょうか？その手がかりもミトコンドリア DNA に残されていました。どの生物も、DNA の塩基配列は非常に低い確率ですが、一定の割合で変異することが知られています。ミジンコのミトコンドリア DNA の場合、1 世代あたり 1 塩基あたり 18×10^{-8} の確率で変異することが先行研究により確かめられています。今回明らかとなった日本に生息するミジンコの 4 タイプのミトコンドリア遺伝子型のうち、西日本で採集された 2 タイプには塩基配列に大きな変化はなく、ごく近年、日本に侵入してきた個体に由来すると考えられます。これらは、例えば外来魚の放流など人間活動に伴って侵入したのかも知れません。しかし、日本に広く分布していた残り 2 タイプにはミトコンドリア DNA の塩基配列にいくつか変異が認められました。調べた核遺伝子の配列には違いがなかったことから、ミトコンドリア DNA の塩基配列の変化は日本に侵入後に生じたと考えられます。そこで、ミジンコの世代数が 1 年あたり 3~10 世代とし、ミトコンドリア DNA の塩基配列の変化頻度と変異確率から変異に要した時間を計算すると、700~3000 年であると推定されました。すなわち、日本に広く生息しているミジンコの多くは、700~3000 年前に日本に移入したたった 2 個体の直系子孫であると言う事ができます。

【研究の意義と展望】

1. ペリー提督が黒船を伴って日本に来たのは 1853 年ですが、その遙か前にたった 2 個体のミジンコがどうやって日本に侵入し、定着したのか大きな謎です。ミジンコの休眠卵は乾燥にも耐えられるので、例えば水鳥に付着して長距離を移動することが出来ます。しかし、そのように鳥の渡りに付随して移動したのであれば定期的な移動分散なので、もっと多くの、遺伝的に多様なミジンコ個体が日本に侵入していたはずです。
2. 絶対単為生殖型のミジンコは雄と交尾することなく休眠卵を造るので、突

然の環境変化にも即応しやすく、有性生殖する種に比べて競争の上でも有利と考えられています。実際、アフリカ大陸では、100年前にブラックバスとともに北米から侵入した絶対単為生殖型のミジンコがアフリカ在来のミジンコ種を駆逐していることが報告されています。今回明らかとなった日本に生息しているミジンコはすべて絶対単為型でしたが、その日本への侵入によって在来種が駆逐されていたかも知れません。その可能性については、今後、池沼に堆積し埋土された過去に産卵された休眠卵を調べることで明らかにすることが出来る可能性があります。

3. 絶対単為生殖型の生物は、交尾による遺伝子組み換えがないので、有害な突然変異が蓄積したり病気に感染しやすいなどの理由でいずれ絶滅すると考えられています。絶対単為生殖型のミジンコは、有害遺伝子の蓄積によりおよそ千年程度で集団としての寿命が尽きるという理論計算もあります。それにもかかわらず、絶対単為生殖型が多く集団に広がり維持されるのは、雄がその繁殖様式を広げているからです。今回、日本のミジンコは絶対単為生殖型で数千年前に日本に侵入した個体に由来することが解りました。このことは同時に、一部の遺伝子型の集団は、集団としてほぼ寿命が近づいていることを示唆しています。絶対単為生殖のミジンコがいくら雄を産んでも、日本にはそれを受け入れる有性生殖を行うミジンコ(*D. pulex*)はいません。もし、新たな移入個体がいなければ、ミジンコは日本からやがて消えてしまうことになるでしょう。

以上のように、本研究の成果は、ミジンコをはじめとする日本の淡水生物の由来や成立に関するこれまでの見方に変更を迫るものです。また、水生生物の移入分の機能や遺伝的多様性と集団の存続など、進化生態学の重要な課題を紐解く手がかりを提供するものと言えます。



【用語説明】

ミジンコ類 ミジンコ類はエビやカニと同じ甲殻類の仲間で、鰓脚綱枝角目に含まれる体長数ミリ以下の生物です。広義のミジンコ、すなわち枝角目には 1000 種ほどが知られていますが、狭義のミジンコ *Daphnia* 属は 100 種程度が記載されています。ただし、近年の分子生物学的手法による系統解析により、世界各地で種的大幅な見直しが行われています。

ミトコンドリア DNA 細胞内のミトコンドリアがもつ DNA。ミトコンドリアは卵細胞に由来するので、その DNA は母親から引き継いだものです。したがって、雑種は親種となるどちらかの種のミトコンドリア DNA を持っていることとなります。今回、明らかとなった日本に分布しているミジンコはすべて *Daphnia pulex* のミトコンドリア DNA を有していました。

核 DNA DNA は雄と雌の DNA に由来します。今回調べた各 DNA はマイクロサテライトと呼ばれる遺伝子配列と、乳酸脱水素酵素 (LDH: lactate dehydrogenase) に関連する遺伝子です。有性生殖すれば核 DNA は雄と雌により組み替えが起こるので、個体によって異なる遺伝子型が数多く造られます。しかし、今回調べた核 DNA にはミトコンドリア DNA 型ごとに、1 つの核遺伝子型しかみつきませんでした。このことは、日本の *D. pulex* は有性生殖をした痕跡がないことを示しています。

また、今回の調査では、どの個体にも LDH に *D. pulicaria* という別種の遺伝子配列があったことから、日本のミジンコは *D. pulicaria* との雑種もしくはその子孫であると判断されました。*D. pulicaria* は日本には本来生息していません。したがって、この雑種化は、日本に侵入する以前に北米で生じたと考えられます。なお、*D. pulicaria* は北米に生息するミジンコ種ですが、1998 年に突然琵琶湖に出現して話題となりました (Urabe et al.2003)。

休眠卵 ミジンコ類の生活史で最もユニークなことは、普段は雌だけで増えますが、環境が悪化すると雄を産み、交尾 (有性生殖) して休眠卵を産卵することです。すなわち、休眠卵の産卵は、ミジンコにとって有性生殖を行う機会でもあります。今回明らかとなった日本に生息しているミジンコは、この休眠卵も雌だけで造っていることとなります。

ミジンコ類の休眠卵は産卵後、池の底等に沈み休眠します。この休眠卵による休眠により、温度の低い冬や捕食者である魚の多い季節を乗り越えること出来ます。また、休眠卵は乾燥にも耐えられるので、鳥の羽などについて異なる池や湖へ分散する機会を提供します。

【論文題目】

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*, in press. (DOI: 10.1002/lno.10087)

お問い合わせ先

(研究に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科群集生態分野

担当 教授 占部 城太郎 (うらべ じょうたろう)

電話: 022-795-6681

E-mail: urabe@m.tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科広報室

担当 高橋 さやか (たかはし さやか)

電話: 022-217-6193

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