

グーデア科胎生魚の胎仔は栄養リボン（胎盤）からだけでなく、消化管からも栄養を吸収できる ～魚類の胎生の“これまで”と“これから”を予想する～

【本研究のポイント】

- ・胎生魚の胎仔が体内の消化管でタンパク質を吸収できることを示した。
- ・吸収に関わる遺伝子発現は、消化管と栄養リボン（胎盤^{注1)}で共通点があった。
- ・この成果は、グーデア科魚類における胎生形質獲得の理解に貢献する。

【研究概要】

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院生命農学研究科の野村 隼平博士前期課程学生、飯田 敦夫 助教、本道 栄一 教授らの研究グループは、東北大学との共同研究で、グーデア科胎生魚^{注2)}の胎仔が母体由来の栄養分を吸収するための、新たな経路と分子機構を発見しました。

本研究では、グーデア科魚類の胎盤様構造として知られる栄養リボンが、胎仔における唯一の母体栄養吸収の経路ではなく、出生後の仔魚や成魚と同じく消化管でも栄養吸収できることを示しました。これは、栄養リボンを持たないグーデア科胎生魚の祖先が、どのように胎生形質を構築して現在に至ったかの解明に大きく貢献します。また、一旦獲得した栄養リボンを再び失った、唯一のグーデア科胎生魚だとされる *Ataeniobius toweri* の解析にも繋がります。グーデア科魚類は、脊椎動物での繁殖様式の変遷（卵生→胎生）を理解する上での有用なモデルになると考えられます。

本研究成果は、2023年1月5日付学術雑誌「Biochemical and Biophysical Research Communications」に掲載されました。

【研究背景と内容】

哺乳類を含む胎生動物^{注3)}は、体内受精で生じた胚を母体内で発生させ、成長した子を出産するという繁殖上の特徴を持ちます。例えば哺乳類では、胎児と母体を連絡する構造物として、胎盤や臍帯（へその緒）が知られており、栄養供給やガス交換の役割を担います。胎生動物の分布は哺乳類に限らず、魚類、両生類、爬虫類でも発見されています。魚類では胎生種を含むグループの一つとして、カダヤシ目グーデア科が知られています。私たちは魚類の胎生を研究するモデルとして、ハイランドカープ (*Xenotoca eiseni*) というグーデア科胎生魚に注目し、これまでも幾つかの研究報告を名古屋大学から発信しています^{*a,b}。

グーデア科胎生魚の特徴として、母体内で成長する胎仔が備える栄養リボン (trophotaenia) という構造物が挙げられます (図 1)。栄養リボンは、グーデア科魚類における胎盤様構造だと考えられており、我々はこれまでに母仔間でやりとりする栄養分 (タンパク質) や、その吸収分解機構について明らかにしてきました^{*a,b}。

その過程でひとつ疑問が生じてきたのは、「栄養リボンがグーデア科胎仔における唯一の母体栄養の吸収経路なのか?」という点です。この疑問の背景には、グーデア科胎生魚の共通祖先が、栄養リボンを持たない卵生種だと推測されていることや、現生のグーデア科胎生種に栄養リボンを失った種が 1 種 (*Ataeniobius toweri*) のみ報告されていることが挙げられます。これらの種の胎仔は、母体由来の栄養分を経口摂取し、消化管で吸収していたと考えられています。これは一部の胎生のサメではよく知られた仕組みです。グーデア科胎生魚でも、胎仔の胃の内容物の調査から、消化管での栄養分吸収の存在が示唆されていました。しかし、その機構の詳細について、分子生物学的な検証はされていませんでした。

そこで我々は、母仔間を輸送される栄養分のひとつであるビテロジェニン^{注4)}に注目して、胎仔の消化管における物質吸収機構を調査しました。その結果、ハイランドカープの胎仔の消化管では、栄養リボンと同様のビテロジェニン吸収機能があることが明らかになりました。そこで次に、タンパク質の細胞内取り込みに関わる遺伝子発現を調査しました。エンドサイトーシス^{注5)}に関わる候補遺伝子のほとんどが、



図 1. ハイランドカープの胎仔 (受精後 3 週) 腹部から飛び出たリボン状の構造物が“栄養リボン”。組織の一部は体内の消化管と連続して、グーデア科胎生魚に独自の胎盤様構造だとされている。

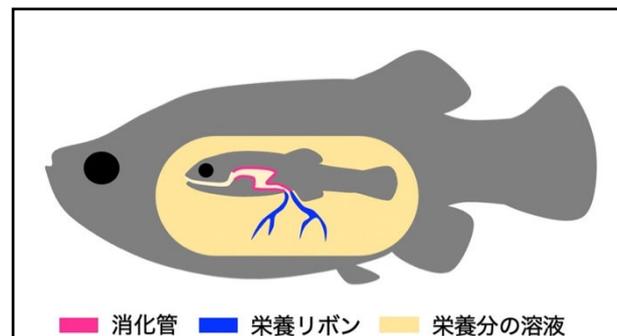


図 2. 母仔間栄養の輸送経路モデル

卵巣内腔液の栄養分を吸収するには、胎仔の体外に露出した栄養リボンにメリットが多いものの、体内の消化管も吸収活性を保持している。

消化管と栄養リボンで同等に発現していることが明らかになりました。一方で、脂質の輸送や代謝に関わる遺伝子のいくつかで、両組織での発現に違いがある結果となりました。以上のことから、栄養リボンと多少の機能的差異はあるものの、ハイランドカープ胎子の消化管は、母体内で成長する間の栄養吸収器官として機能し得ると結論づけました（図2）。

【成果の意義】

本研究の結果から、グーデア科胎生魚ハイランドカープの胎子では、胎盤様構造である栄養リボンが唯一の母体栄養吸収の経路ではなく、消化管の貢献も存在することが示唆されました。これは、栄養リボンを持つ前のグーデア科胎生魚の祖先種や、明確な胎盤構造が報告されていない胎生硬骨魚における、妊娠の仕組みの理解につながる成果です。また、栄養リボンを獲得した後に再び失ったとされるグーデア科胎生魚 *A. toweri* は、祖先種が胎子における消化管の栄養吸収能力を維持していたからこそ、胎生種として現在も存続できていると考えられます。本研究結果自体は、決して知名度の高くない胎生魚類に関するニッチで限定的なものですが、ここを起点として、グーデア科あるいは脊椎動物全般の繁殖様式の変遷や進化を考察することが可能となります。先人による分類と記載を元に、現代の分子生物学を駆使してさらに一步、生き物への理解を深める、そこには“巨人の肩に立つ”生物学のロマンが凝縮されていると、研究代表者は確信しています。

本研究は、大幸財団「第30回自然科学系学術研究助成」の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注1) 胎盤：

「母体と胎児を連絡する器官」と定義されている。哺乳類の場合は、母体由来の脱落膜と胎児由来の絨毛膜で構成される。消化管に由来すると考えられているグーデア科の栄養リボンも、機能的な定義付けによれば“胎盤”に位置付けられる。

注2) グーデア科胎生魚：

カダヤシ目グーデア科グーデア亜科に分類される、およそ40種から成る胎生硬骨魚のグループ。近縁の Empetrichthyinae 亜科は卵生種で構成されており、卵生の共通祖先から胎生種が生じたと考えられている。メキシコ原産の淡水魚で、ハイランドカープのように観賞魚として世界中で流通している種もいる。

注3) 胎生動物：

体内受精し、受精卵あるいは胚を母体内で成長させた後で出産する動物種を指す。明確な定義付けではないが、妊娠中に母仔間の栄養供給のあるものを真胎生（胎生）、受精卵自身が持つ卵黄の栄養のみで成長するものを卵胎生と一般的に呼ぶ。

注4) ビテロジェニン：

卵の卵黄部に集積する栄養成分を構成するタンパク質のひとつ。卵黄を形成しない哺乳類では、アミノ酸配列をコードする遺伝子自体が欠失している。

注5) エンドサイトーシス：

細胞が細胞外の物質を取り込む過程のひとつ。高分子化合物を取り込み、細胞内小胞（リソソーム）で分解する。細胞内小胞の構成因子としてクラスリン（Clathrin）が、分解を担う酵素としてカテプシンL（Cathepsin L）などが挙げられる。

【参考 URL】

*a サカナは消化管から胎盤を作った？ ～グーデア科胎生魚で母子間物質運搬の仕組みを探る～（2021年6月30日）

<https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2021/06/post-16.html>

*b 胎生魚類の赤ちゃんは、どのようにお母さんの栄養を吸収するのか ～胎盤の飲食作用で取り込んで分解することを解明～（2022年6月6日）

<https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2022/06/post-270.html>

【論文情報】

雑誌名：Biochemical and Biophysical Research Communications

論文タイトル：Vitellogenin uptake activity in the intestinal ducts of intraovarian embryos in a viviparous teleost *Xenotoca eiseni*

著者：野村 隼平（生命農学研究科・博士前期課程）、横井 勇人（東北大学）、本道 栄一（生命農学研究科・教授）、飯田 敦夫（生命農学研究科・助教）

DOI: 10.1016/j.bbrc.2023.01.009

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006291X23000219>