

海産カジカ科魚類の精子形態と運動性の種間比較：交尾行動と

精子競争が駆動する精子の進化

新潟大学大学院生命・食料科学専攻 博士前期課程 2年（助成時）

大阪市立大学大学院生物地球系専攻 博士後期課程 1年（現在）

伊藤 岳

精子は卵にたどり着き、受精するために特化した細胞である。その単純な目的にもかかわらず、種によって非常に様々な形態や運動性を持っている。これらの多様性を生む要因として、交尾をする、しないによって生じる受精環境の違いや、受精を巡ってオス同士の精子が競い合う精子競争の激しさの違いなど、複数の要因が考えられる。これまで、精子の進化要因を明確に示した研究は少なく、系統の離れた種同士を比較する場合、様々な要因が複雑に影響するため、本当にこれらの要因が影響しているかは不明瞭であった。

海産カジカ科魚類は北太平洋に起源を持ち、進化の過程で日本沿岸や北米西海岸に進出し、それぞれの海域で独自に種分化したと考えられる。全世界に約 300 種類ほどが知られるこのグループは、一般的な魚類のように交尾をせずに体外受精をする種（非交尾型）と、多くの陸上動物のように交尾を行う種（交尾型）が同じ科の中に混在している。また、メスが産んだ卵をオスが保護する種（オス保護型）、メス自身が保護する種（メス保護型）、両親とも保護せず、無脊椎動物に卵を産み付ける種（卵寄託型）など様々である（図 1）。卵の保護様式の違いは精子競争の強さに関わると予測され、メス保護型や卵寄託型はオス保護型に比べ、1 個体のメスに複数のオスが交尾するので精子競争レベルが強いと考えられる。このように、海産カジカ科魚類は近縁種間で繁殖様式が多様化しているため、他の要因に左右されずに交尾行動や精子競争が精子に与える影響を解明できると考えられる。また分子系統樹から、非交尾型の種から交尾型の種へ、オス保護型からメス保護型や卵寄託型へ進化したと推定されている（図 1）。興味深いことに、日本と北米のどちらの海域でも非交尾型と交尾型の種や異なる卵保護様式を持つ種が現れる。このことから、交尾の進化や精子競争の激化に伴って、精子は異なる海域で平行進化した可能性が高いと考えられる。そこで、本研究では、北米と日本の計 37 種を用い、交尾するかないかによって生じる受精環境の違いと、卵の保護様式の違いから生じる精子競争レベルの違いに着目し、精子の形態と運動性との関連性を明らかにすることを目的とした。また、精子の平行進化を明らかにするため、分子系統樹を用い

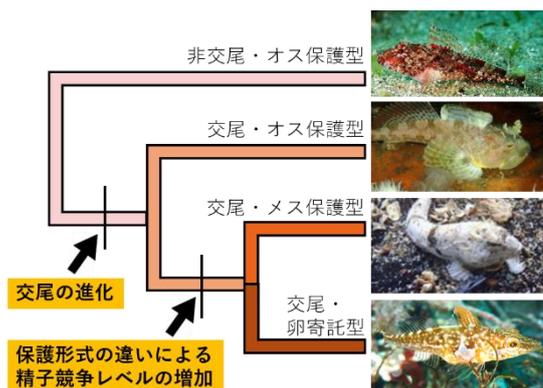


図 1 カジカ科魚類の繁殖様式の進化。分子系統樹により、カジカ科魚類は非交尾型から交尾型へ、オス保護型からメス保護型や卵寄託型に進化したと推定されている。

て系統種間比較解析 (PGLS) を行った。さらに、精子の微細構造や内部構造を調べるため、電子顕微鏡による観察も行った。

その結果、精子は繁殖様式によって非常に多様な形や大きさをしていて (図 2)。同じオス保護型同士では、交尾型と非交尾型の鞭毛長には違いがなかった。一方、メス保護型・卵寄託型の精子の鞭毛はオス保護型に比べて 1.5~2.5 倍長く、また遊泳速度も速かった。頭部長の形態に関しては、鞭毛とは異なり、交尾の有無が関係していた。

非交尾型は、他の体外受精の魚類と同じ丸い頭部を、逆に交尾型は体内受精の動物と同じ細長い頭部の形態をしていた。さらに、交尾種の中でもメス保護型・卵寄託型はオス保護型の種に比べてさらに長い頭部と中片を持っていた。これらの精子の特徴は日本、北米どちらの種でも同じであり (図 3)、また、PGLS の結果から、カジカ科魚類の精子形態や運動性は系統に左右されることなく、交尾行動や精子競争が関係して平行進化した可能性が高いことが明らかとなった。また、精子の微細構造も繁殖様式によって異なっており、非交尾型では鞭毛に発達した lateral ribbon が見られたが、交尾型ではほとんど見られなかった (図 4)。中片に含まれるミトコンドリアの形態も非交尾型と交尾型で異なっていた。

本研究から、交尾の進化に伴って精子頭部の伸長が起こり、鞭毛の構造も変化したことが示唆された。一方、非交尾型と交尾型で精子の鞭毛長と遊泳速度には大きな違いがなく、精子競争レベルが強いと考えられるメス保護型や卵寄託型は長く速い精子を有していた。これまで交尾行動と精子の長さには強い関係があると考えられていたが、本研究はこの考えを覆すもので、交尾行動ではなく、精子競争レベルの激化が鞭毛長や中片形態、遊泳速度を増加させるように進化させたことが明らかとなった。以上より、海産カジカ類の精子の形態や運動性は、系統に関係なく、交尾行動や精子競争に関係して平行進化したことが本研究で初めて示された。

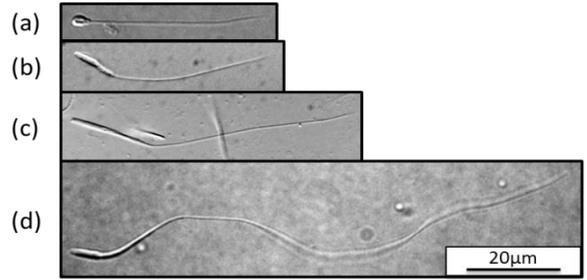


図 2 精子形態の多様性。(a) 非交尾オス保護型、ヒメフタスジカジカ。(b) 交尾オス保護型、ペロ。(c) 交尾メス保護型、キマダラヤセカジカ。(d) 交尾卵寄託型、アヤアナハゼ。

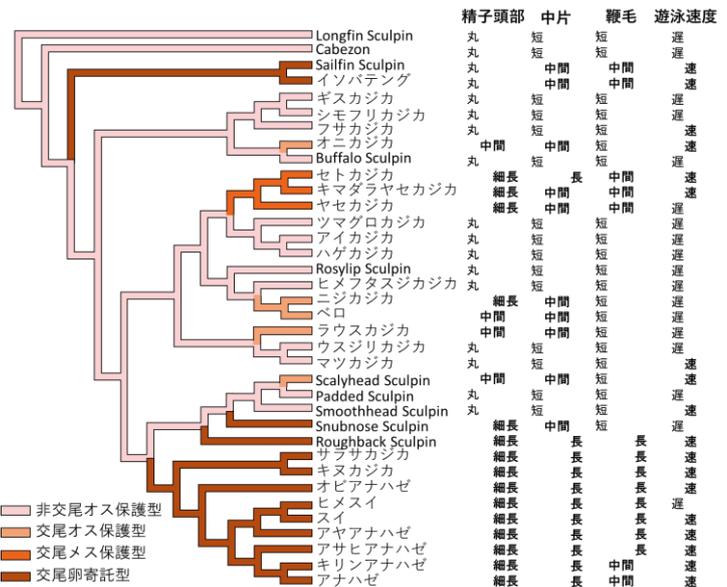


図 3 カジカ科魚類の分子系統樹、繁殖様式と測定した精子の形態、遊泳速度。北米の種は英名で示している。

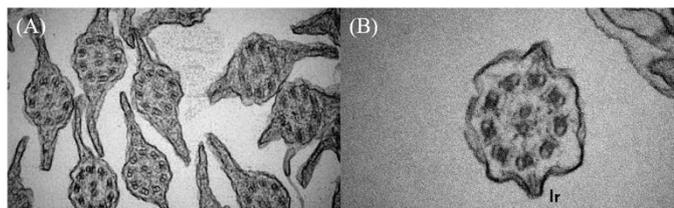


図 4 鞭毛の横断面図。(A) 非交尾オス保護型、ヒメフタスジカジカ。(B) 交尾卵寄託型、アナハゼ。lr: lateral ribbon.