

生物多様性学術研究 報告書

佐渡島沿岸に生息する海産カジカ科魚類の特異な繁殖戦略についての研究

新潟大学大学院自然科学研究科 上松 沙織

1. 背景

ダーウィンによって提唱された性淘汰は、配偶者を巡る競争を通じて起きる進化のことを指し、同性間競争と配偶者選択の2つの要素によって構成されている。多くの場合、競争を行うのは雄、配偶相手を選択するのは雌であり、雄は雌を巡り、ライバルとなる雄と争う。一方、雌は生み出せる卵の数には限りがあるため、配偶相手としてより優れた雄を選択する必要がある。近年は、このような「配偶前の性淘汰」に加え、配偶後に雌の生殖管内にて複数雄由来の精子同士の受精を巡る精子競争といった、「配偶後の性淘汰」が生じていることが明らかとなり、注目される研究分野となっている。しかし、雄同士の闘争やクジャク、グッピー等にみられる体色の派手さなど、片方の性に特有の形質の優劣から配偶相手を選択する種では、性淘汰の研究が数多くなされてきたが、見た目の雌雄差がない（性的二型のない）動物種では、性淘汰、特に配偶後の性淘汰に関する研究は少ない。

佐渡近海に生息する海産カジカ科類は全てが交尾種であり、性的二型（雌雄の差）が小さい種が多く、ホヤ・海綿に卵寄託を行い（無保護）、系統樹的にも近い種群である。しかし、これらの繁殖様式が似通っているにもかかわらず、少しではあるものの性的二型の程度が異なっているのはなぜなのだろうか（表 1, 図 1）。私が学部時代の際にキリンアナハゼの繁殖行動と雄の交尾成功の要因について調べてみたところ、交尾試行回数が多い雄が交尾に成功していることが明らかとなった。他の動物種では一般的に求愛行動をよく行ったり、体が大きかったり、競争に強い雄が配偶に成功しやすいのであるがキリンアナハゼについてはそうではなかった。さらに雄間の競争が見られなかったこと、交尾の割り込み行動が見られたことから、雌は複数の雄と交尾していることが考えられ、配偶前の性淘汰よりも配偶後の性淘汰の方が強くはたらくと考えられた。これを確かめるため、そして他のカジカでも同じようなことが起こっているのかを確かめるために、佐渡近海に生息する海産カジカ科魚類数種について、種ごとの精巣への投資量（精子競争の度合い）はどの程度なのか。また、実際にカジカ科魚類にて1卵塊に対し、父親が複数個体いることがあるのか（multiple paternity）を調べた。

	体サイズ	性的二型		特徴
		鱗、体色等	体サイズ	
スイ	8cm	有	雄	雄の方が背鱗が長い。求愛行動あり
アヤアナハゼ	10cm	無	?	
アナハゼ	13cm	無	雌	繁殖期には縄張り形成
キリンアナハゼ	19cm	無	雌	求愛行動を行うものの、交尾試行回数の方が重要
アサヒアナハゼ	10cm	少し有	雌	雄の方が背鱗が若干長い。
サラサカジカ	7cm	無	雄	縄張りを持たない。交尾時間が長い(約10秒)
キヌカジカ	7cm	無	?	

表 1 佐渡近海に生息している海産カジカ科魚類の特徴

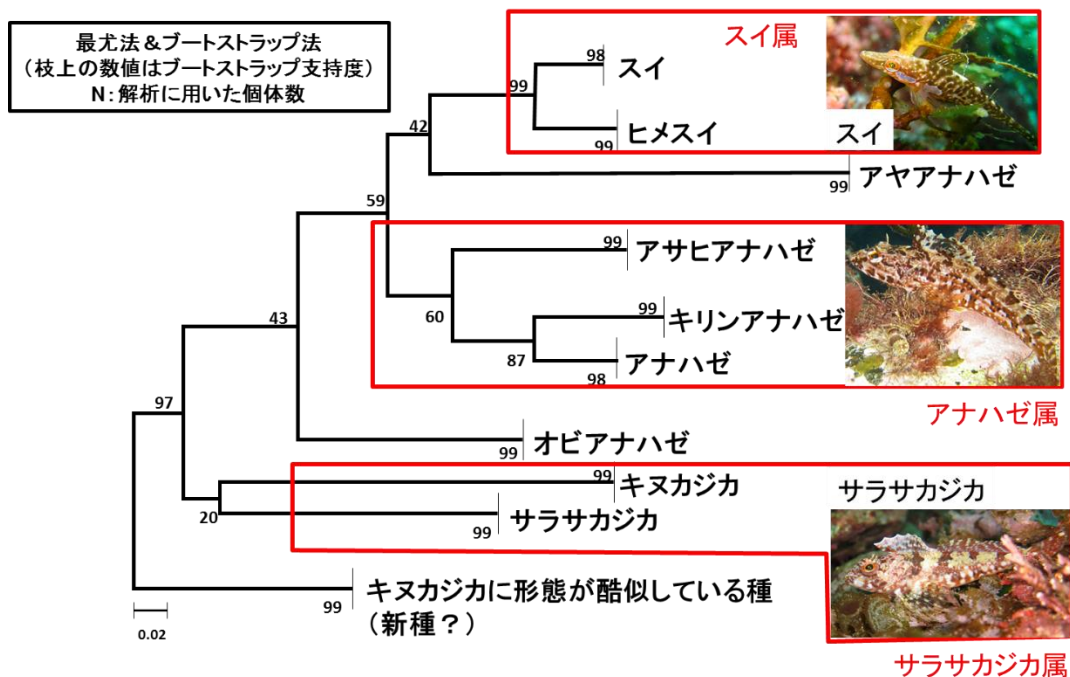


図 1 佐渡近海に生息するカジカ科魚類の系統樹

2. 方法

精巣解析

2011～2014 年の 10～11 月にかけて、佐渡近海にてスキューバによって繁殖期を迎えた雄（キリンアナハゼ、アナハゼ、アサヒアナハゼ、アヤアナハゼ、スィ、サラサカジカ）を採集した。そして、雄の体重を測定した後に、雄を解剖し、精巣を取り出して重量を測定した。体重量、精巣重量を基に種ごとの精巣投資量を比較した。

親子判定

親子判定には性的二型（雌雄の差）が見られるスィと見られないキリンアナハゼを用いた。親子判定に用いたマイクロサテライトマーカーは次世代シーケンサーを用いてアサヒアナハゼの DNA から作成し、13,240 のマイクロサテライト領域を含む配列から 198 を選別した。そのうち 72 プライマーをテストした結果、そのうちの 70%が使用可能であること、佐渡近海に生息している近縁種 9 種全てで使用可能であることが分かった。そこで、multiplex PCR 法を用いて、1 回の PCR で 10～12 のマイクロサテライト座を増幅させた。

親子判定の解析では、スィ、キリンアナハゼのどちらにおいても、解析用ソフトである Cervus3.0.3 を用いた。父親の数の測定には、スィでは allele counting（父親数 = (allele 数 - 2) ÷ 2）で計算した。キリンアナハゼでは、親子判定用ソフト CORONRY で計算を行った。

3. 結果

精巣解析

体重量と精巣重量には正の相関関係が見られた。また、種によって精巣の占める割合に違いが見られた。点線で示した近似直線が高い位置にあるほど体重における精巣の占める割合が大きく、精巣に多くの投資をしているが故、精子競争が激しいと考えられるが、スイ、アナハゼ、サラサカジカの三種で比較してみると、一番精子競争が激しいのがスイ、中間がアナハゼ、最も弱いのがサラサカジカと考えられた (図 2)。

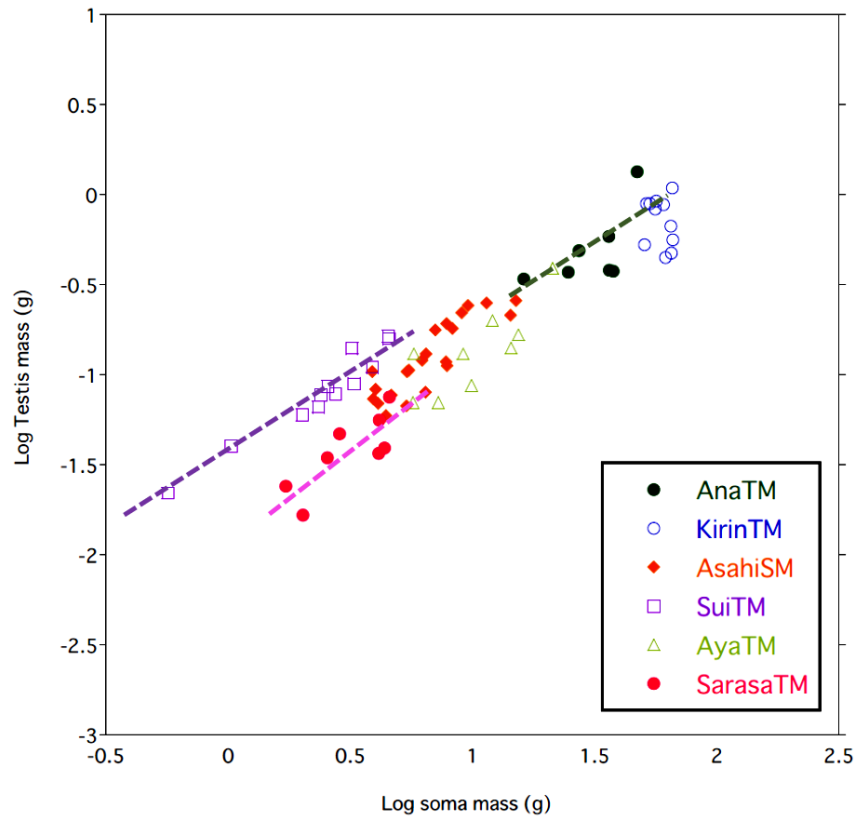


図 2 精巣重量の比較
紫がスイ、緑がアナハゼ、ピンク(丸)がサラサカジカを示す

親子判定

○マイクロサテライトマーカー

使用できたマイクロサテライトマーカーはスイでは 10 つ、キリンアナハゼでは 5 つであった。どのマイクロサテライトマーカーについても、allele (対立遺伝子数) が多く、また、combined non-exclusion probability (本当の父親でないのに誤って認識してしまう確率) が極めて低いため、親子判定に用いるには問題ないと判断した (表 2)。

○スイ

Locus	N	N _{alleles}	Base pairs	H _{Obs}	H _{Exp}	P _{excl}	F _{Null}
Pcot001	14	7	109~125	0.643	0.72	0.301	0.0113
Rad19	14	15	158~196	1	0.944	0.694	-0.0479
Pcot027	14	4	281~314	0.5	0.431	0.091	-0.1279
Pcot012	14	8	153~173	0.571	0.54	0.161	-0.0577
Pcot050	14	6	178~194	0.643	0.712	0.28	0.0485
Pcot066	14	10	267~346	0.786	0.828	0.45	0.0128
Pcot035	14	11	115~140	0.929	0.918	0.62	-0.0244
Pcot055	14	10	244~268	0.714	0.886	0.551	0.0683
Pcot023	14	6	285~308	0.786	0.725	0.284	-0.0607
Pcot048	13	5	150~160	0.769	0.788	0.348	-0.0094
*combined non-exclusion probability (first parent): 0.00514							

○キリンアナハゼ

Locus	N	N _{alleles}	Base pairs	H _{Obs}	H _{Exp}	P _{excl}	F _{Null}
Pcot001	22	13	134~163	0.818	0.875	0.558	0.0203
Pcot017	22	4	213~219	0.545	0.574	0.16	0.0172
Pcot066	16	8	271~287	0.938	0.849	0.473	-0.0675
Pcot007	22	7	134~155	0.864	0.789	0.377	-0.058
Pcot012	22	8	156~176	0.864	0.814	0.438	-0.0475
*combined non-exclusion probability (first parent) = 0.0685							

(N=個体数、Nallele=対立遺伝子数、Base pairs=locusにて検知できた範囲、Hobs=ヘテロ接合度(特定遺伝子座におけるヘテロ接合型の集団内頻度)の観察値、Hexp=ヘテロ接合度のハーディーワインベルグ法則下における期待値、Pexcl=間違っって子供だと認識してしまう確率(排他確率)、Fnull=ヌル対立遺伝子の頻度)

表 2 使用したマイクロサテライトマーカーの詳細

○親子判定

まず、スイでは、群体ボヤから採集した海綿卵(名前がミスマッチではあるが、スイの卵塊は海綿からも取れることがあるためご了承願いたい) 2, 5(どちらも n=48)にて父親がそれぞれ 3 個体、6 個体いることが推測され、1 卵塊にて複数の父親がいることが推測できた。また、キリンアナハゼでもホヤ 2(n=64)、ホヤ 10(n=68)にて父親がそれぞれ 2 個体、3 個体いることが確認でき、さらに特定の父親が多くの子どもを独占していることが確認できた(図 3)。

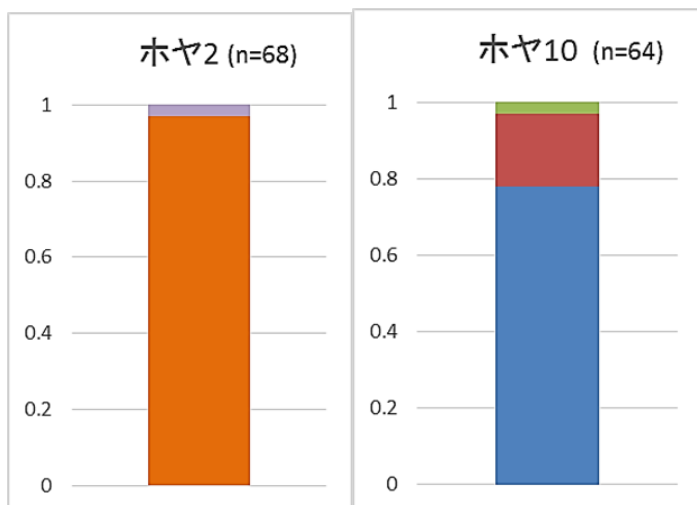


図 3
 キリンアナハゼの卵塊の父親の数
 色の違いが父親が異なることを示す。縦軸の値はその父親が卵塊のどれぐらいを占めているかを示す。

4. まとめと考察

これらをまとめると、精巣重量の割合はスイが一番大きく、サラサカジカが一番小さい、スイ、キリンアナハゼともに **multiple paternity** が見られ、キリンアナハゼにおいては父親の独占が見られることが分かった。また、スイ、キリンアナハゼの父親の数を、これまで研究が行われてきた交尾種のソードテール類(*Xiphophorus belleri*, *X. nigrensis*)、ウミタナゴの仲間(*Hyperprosopon anale*, *Gymnotogaster aggregate*)の父親の数と比較してみると、スイは父親の数が多い方になるのではないかと考えられる(表 3)。本来であれば、スイのような雌雄の差がはっきりとしている種では、配偶前の性淘汰(同性間競争、配偶者選択)時にあらかた雌を独占することができるため、父親の数も少なくなるのではないかと考えられているものの、なかなか興味深い結果となった。

形態、精巣重量、父親の数が種によって異なるということを考えると、佐渡近海に生息しているカジカも種によって繁殖様式が大きく異なると考えられ、これを明らかにすることは佐渡の生物多様性の理解や保全に少しでも役に立つのではないかとと思われる。

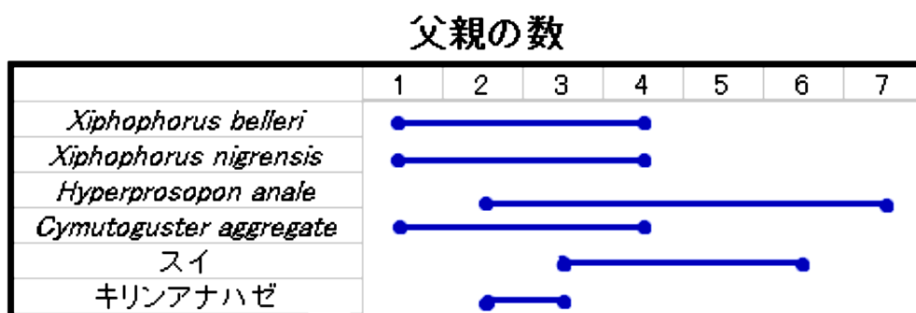


表 3 交尾魚での父親の数の比較