

侵略的外来種ヨーロッパザラボヤ —透明ホヤの研究活用への道—

Invasive tunicate *Ascidella aspersa*; the road to a new model animal with its transparent eggs.

慶應義塾大学大学院 理工学研究科 紫藤 拓巳 (Shito, Takumi)

ホヤを求めて三千里

ホヤは知名度のない海洋生物である。一般的な人間はホヤを知らない。海に慣れ親しんでいるダイバーや、自然科学の徒である大学生の間でも認知度は低い。筆者の大学院の友人などは、何度説明しようと「ゴカイの研究まだやってんの？」などと訊いてくる。ホヤは誤解されやすい動物である。ホヤを知っている珍しい人間は大抵、酒のつまみね、あのホヤ“貝”ね？、と言う。貝ではない、むしろヒトに近い脊椎動物の親類だと伝えれば不可解な顔をされる。「ホヤ研究者あるある」である。

一方、ホヤは海の中で極めて一般的に見られる動物でもある。もしあなたにダイビングの心得があり、幾ばくかのお金と時間があり、そして無駄を愛する心があれば、綺麗な魚や不思議な地形を見る絶好の機会を投げ出し、岩場に留まってジッと一角を眺め回してみることをおすすめする。岩やりに付着して剥がれそうもない、体に二つの穴が空いた謎の物体。それは大抵ホヤである。この二つの穴は入水孔と出水孔といって、栄養を摂取するために水を出し入れしている。この特徴を除けば、ホヤの姿は極めて多様である(図1)。無骨で大柄な種も多いのだが、南国の鮮やかなホヤ達は一部のマクロ党ダイバーに愛されており、「カールおじさんホヤ」、「ガイコツパンダボヤ」など面白い外見のホヤは人気を博し、何度かTwitter

でバズっている。

ダイビングが必要な深いところにしかホヤは居ないのか、そんなことは全くない。ホヤは入り組んだ港湾などに住みつき、岩場ではなく船底やロープ、コンクリートの壁面などの人工物にも付着する。そのため、漁港で垂れ下がっているロープを引き揚げたり、ヨットハーバーで壁面沿いを泳ぎ回れば、浅瀬からも簡単に見出すことができるのだ(図2)。もちろん部外者が勝手に行うのは危険かつ違法行為である。筆者らは特別な許可を取って遂行している。

日本各地に棲息するホヤだが、特に東北地方の一部の人々はホヤへ並々ならぬ愛着を寄せている。このホヤとは「マボヤ」のことを指し、岩手や宮城、北海道などで養殖され食用に流通している。食材としてのホヤの認知度も低い、その独特な味には熱狂的なファンがついている。新鮮な刺し身なども美味しいが、「ほやの唐揚げ」や、全国通販で購入できる「蒸しホヤ」、女川市の郷土料理「ほやたまご」等はクセも少ない絶品でぜひオススメしたい。赤くゴツゴツした特徴的な見た目も人気がある。仙台うみの杜水族館では養殖ホヤを展示しており、また宮城県気仙沼市のマスコットキャラクター「ホヤほーや」のグッズは県内で広く販売されている。他にもホヤの情報を日夜発信している「ほやほや学会」、宮城げんき市「ほや祭り」など、ホヤにちなんだ活動は意外にも多い。

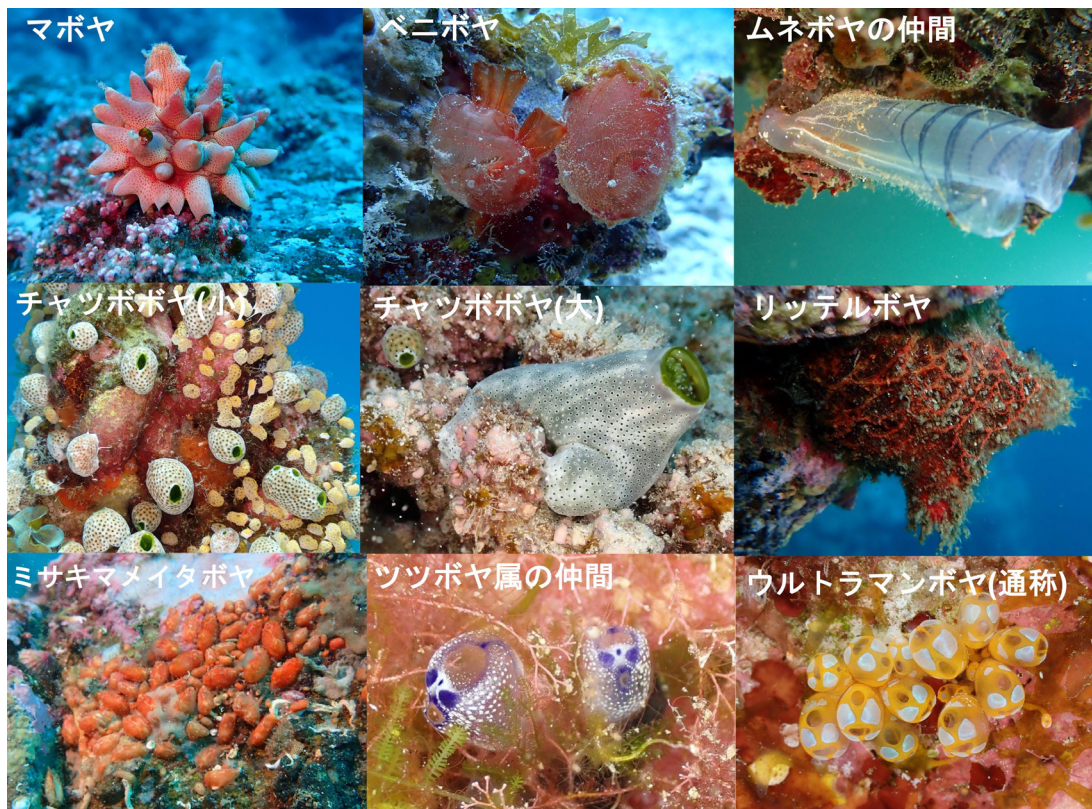


図1 多様なホヤ成体(沖縄、北海道等の海)。



図2 ホヤの採集風景（新潟，沖縄，神奈川）の海。落石の裏，コンクリートの壁面，柱，ロープなどに付着する。



図3 ホタテ連に大量に付着するヨーロッパザラボヤ（地独）北海道立総合研究機構函館水産試験場提供。

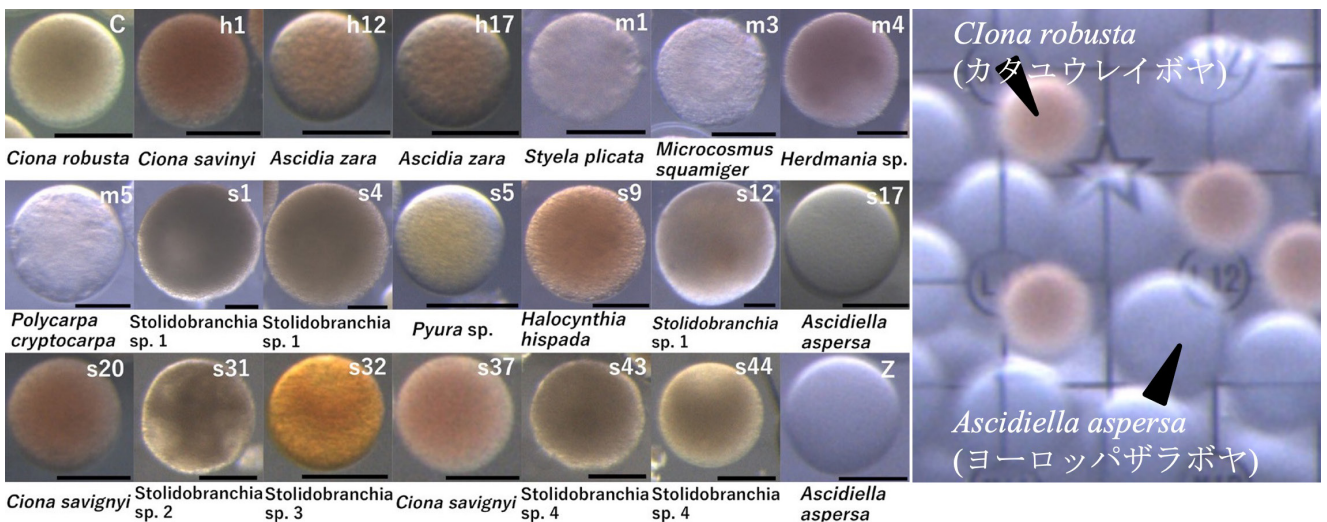


図4 研究で採取された21個体由来のホヤ卵。色付きのカタユウレイボヤの卵に対して，ヨーロッパザラボヤ卵は裏地が透けるほど透明。

このようなホヤの愛好家たちがいる一方で，ホヤなんて絶滅しやがれと頭を抱える方々もいる。右上の写真に映っているのは耳吊りホタテガイの養殖連である（図3）。といっても，この写真からホタテガイを見つけるのは難しいだろう。確かにホタテを養殖してはいるのだが，大量の邪魔者が付着してそれを覆い尽くしている。ホヤである。このエイリアンじみた相貌のホヤはヨーロッパザラボヤと呼ばれており，その名の通りヨーロッパから持ち込まれた外来種。ご覧の通りにわさわさと大量発生して，ひどく労力を要する除去作業やホタテ稚貝の大量死を引き起こし，ホタテ養殖業に著しい被害を与える。この種は2008年に初めて北海道の噴火湾で観測されて以来，主に北方の海に大量発生し続け，実に十五年間におよぶ継続的な漁業問題になっているのだ。

外国からもたらされた侵略的外来種。大量発生する害獣。ここまでは単純で，よくある図式である。しかし極めて面白いことに，ヨーロッパザラボヤは「超透明な卵」を持っていた。

透明なホヤの卵

ホヤが知られていないのだから，ホヤの卵について知っている人間がいる筈もない。ホヤは雌雄同体で，一個体が卵と精子の両方を持つ。つまり一匹がオスでもあり，メスでもある。卵と精子は出水孔を通して海水中に放出され，海水中で受精し，細胞分裂を繰り返してオタマジャクシ型の幼生（赤ちゃん）になる。このオタマジャクシ型幼生になる以前の仕組みが，実は

ホヤヒト間において驚くほど共通しているのだ。というのもホヤはヒトと同じ脊索動物門というグループに属し，進化的に近縁なのである。つまりホヤを研究すれば，ヒトが一つの受精卵から大人になるまでの複雑怪奇なプロセス（生物発生）を明らかにできる。こういった発想の学問を発生生物学といい，発生生物学においてホヤはメジャーなモデル生物である。

直接ヒトの受精卵を研究するのは倫理的に許されないため，他の生物が用いられる。それらの生物の中でも，ホヤは細胞数が少ない，発生が極めて早い，個体サイズが小さい，細胞系譜が決まっている，脊椎動物に近縁など様々な研究上の利点がある。これらの利点がある一方で，現在メインで研究に使われているホヤの一種（カタユウレイボヤ）は色がついて比較的の不透明な卵を持つため，大人になるまでの過程で生じる現象を体の奥深くまでは見通せない弱点があった。

筆者らはカタユウレイボヤに代わる透明なモデル生物を探さべく，日本近海のホヤを探索した。その過程で見いだされたのが，侵略的外来種ヨーロッパザラボヤなのである。当時，筆者は日本の6地点から99個体のホヤを採集し，解剖して卵を採集した。結果的に得られた卵を見ると，卵の色や透明度は種間で極めて異なっているのが分かる（図4）。筆者はハイパースペクトルカメラ（エバ・ジャパン社）という特殊な光学装置を用いてこの卵が「どれくらい透明か？」を計測した。結果として，不透明なカタユウレイボヤ卵は10%程度しか光を通さない一方，ヨーロッパザラボヤの卵は90%の光を素通しする，窓ガラスに



図5 ヨーロッパザラボヤ各発生段階の実体顕微鏡写真。一つの卵がオタマジャクシになるまで様々な形をたどり、常に透明である。

匹敵する極めて特殊な構造をしていることが判明した。また系統解析の結果、ホヤ卵の透明度はナツメボヤ科において特に進化してきたことが示唆された (Shito *et al.*, 2020)。

透明モデル生物への道

外来種ヨーロッパザラボヤは超透明生物であった。ホヤであり、かつ透明であるという実験上の利点を余すことなく備えた生物。これを使わない手はない。しかし、新たな動物を発生生物学の研究で使うためには、この動物がどういった過程をたどって大人になり、その時々でどのような体構造をしているのか、といった連続的な形態情報を記載して公開する必要がある。そこで筆者らは、ホヤ成体から採取した精子と卵を人工的に受精させ、受精卵から孵化したオタマジャクシ型幼生までの発生過程を、26種類の発生段階（ステージ1~26）に分類した（図5）。次に、各発生段階のホヤを共焦点レーザー走査型顕微鏡で撮影した。3,000枚以上の断面画像が記録され、あらゆる角度から胚の詳細な構造を観察することができる3D情報に基づいた、オンライン上のデータベースRAMNe (Resources of *Ascidella aspersa* Morphology Network-based) を公開した。このデータベースは全世界のホヤ研究者コミュニティのみならず、一般公開もしている。興味を持たれた方は、ぜひQRコードからホヤ達の発生の様子を覗いてみていただきたい（図6）。

おわりに

水産無脊椎動物研究所には二年間の研究助成を受けました。右も左も分からぬ学生であった私に、とても得難い研究の機会をいただいたことを心より感謝しております。ここでは私が行っている研究の一部をご紹介させていただきました。

お忙しい中、お手間を掛けてヨーロッパザラボヤをご提供いただいた東北大学大学院農学研究科附属女川フィールドセンターの池田実氏・平塚豊氏、北海道立総合研究機構水産研究本部函館水産試験場の金森誠氏・夏池真史氏・水上卓哉氏、北海道立総合研究機構水産研究本部中央水産試験場の瀧谷明朗氏・森立成氏・萱場隆昭氏・山口幹人氏へ、この場を借りて厚く感謝申し上げます。また他のホヤ採集等にご協力いただいた、新潟大学佐渡自然共生科学センター臨海実験所の大森紹仁氏、東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所の幸塚久典氏、佐渡

ヶ島ダイビングショップ F.WAVE の本間光雄氏、渡嘉敷島ダイビングショップ Prism Dive の前野文郎氏、京都大学大学院理学研究科の佐藤ゆたか氏、東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所の吉田学氏、東北大学生命科学研究科の熊野岳氏、研究への仔細なアドバイスを頂いた琉球大学の広瀬裕一氏・泉水奏氏、採集と系統解析のいろはをご教示いただいたホヤ系統分類学者の長谷川尚弘氏へ同様に感謝申し上げます。

最後に、私達はヨーロッパザラボヤが大量発生する原因や駆除方法についても調査を始めております。もし当種の日撃情報があれば、ぜひ当研究室へご連絡いただけますと幸いです。

Mail: t-shito[@]keio.jp Tel: 045-566-1700 (研究室)

参考文献

- Takumi T. Shito, Naohiro Hasegawa, Kotaro Oka, and Kohji Hotta. (2020). "Phylogenetic Comparison of Egg Transparency in Ascidians by Hyperspectral Imaging." *Scientific Reports* 10 (1): 20829.
- Haruka M. Funakoshi, Takumi T. Shito, Kotaro Oka, and Kohji Hotta. (2021). "Developmental Table and Three-Dimensional Embryological Image Resource of the Ascidian *Ascidella Aspersa*." *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 9. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.789046>.



図6 RAMNe データベース。3,000を越えるホヤ発生画像が閲覧できる。