

瀬戸内海の砂浜に人知れず生息する ナイカイムチョウウズムシ

広島大学自然科学研究支援開発センター 彦坂-片山 智恵 (Hikosaka, K. Tomoe)
広島大学大学院統合生命科学研究所 彦坂 暁 (Hikosaka, Akira)

はじめに

瀬戸内海は700あまりの島を有する風光明媚な半閉鎖的海域だ。波は比較的穏やかで、干満差が大きく、長く複雑な海岸線、海底地形と潮流の複雑さから、多様な環境と豊かな生物相が見られる。

晩春から初夏の大潮の干潮時に瀬戸内海の砂浜（図1A）を歩くと、水際に図1Bのような黒いシミ模様が見られることがある。意識しないと通り過ぎてしまうが、立ち止まって掌で黒いシミを砂ごとすくい、数秒待って捨ててみる。指の上を図1Cのような小さな動物が這っていたら、それが（ほぼ間違いなく）ナイカイムチョウウズムシ *Praesagittifera naikaiensis* (Yamasu, 1982) だ。黒いシミの正体はこのムシの大集団で、のりの佃煮に似た塊になるほど大量に発生することもある。かれらには走地性があり、刺激を受けると砂に潜ろうとする。そのため海水を入れた透明カップにメッシュの漏斗をのせ、この砂を入れてしばし待つと、1~2mmほどの無数のムシたちがわらわらと落ちてきて、容易に採集できる（図1D）。また後述のように体内に共生藻がいるため、光を当てておけば餌なしでも容易に飼育できる（彦坂-片山 and 彦坂, 2015）。私たちはこの動物を用いて進化や発生、共生の研究を進めており、他の研究者にも実験動物として利用して欲しいと考えている。

ナイカイムチョウウズムシは瀬戸内海に広く分布する

本種は岡山県玉野市近辺の海岸で見出され、*Convoluta naikaiensis*, Yamasu 1982として原記載された（現在は*Praesagittifera* 属に移されている）。拡大写真と模式図を図2に示す。

これまで本種は岡山県と広島県の数カ所の海岸で確認されていたが、実験動物として広く使われるには、より多くの場所で

採集できることが望ましい。そこで私たちは2017年度に水産無脊椎動物研究所から研究助成を頂き、より広範囲の生息地調査を行なった。その結果、淡路島から福岡県の広範囲にわたる瀬戸内海沿岸で生息が確認された (Hikosaka-Katayama et al., 2020)。特に大量に生息していたのは、花崗岩質の粗めの砂浜の潮間帯で、川や地下水を通して陸からの栄養塩が流れ込むような場所であった。

各地の野生個体を実験動物として用いるには、採集地による地域差が少ないことが望ましい。そこで各地で採集した個体のミトコンドリアアチトクロムcオキシダーゼサブユニットI (COI) 遺伝子の部分塩基配列を調べて比較した。その結果、瀬戸内海全体を通して、本種には地域的な遺伝的分化がほとんど見られないことも分かった。どの場所で採集したかを気にせず実験に使えるのは、実験動物としては好都合である。最近ドラフトゲノムも公開され、さらに実験に利用しやすくなった (Arimoto et al., 2019)。

無腸動物の進化と発生

ナイカイムチョウウズムシは無腸動物 (Acoela) というグループに属する。ところで無腸動物の実物を見たことのある人はどのくらいいるだろう？ おそらく生物学の研究者でも見た人は多くはないと思う。しかし上述のように、目立たないだけで実は意外に身近なところにもいる動物である。サンゴを飼うアクアリスト達は、しばしば水槽に湧く無腸動物（かれらは「ヒラムシ」と呼ぶ）に悩まされる。

外洋、深海、沿岸、汽水域から世界でおよそ400種、日本からは約30種の無腸動物が報告されている。かれらがかつて扁形動物門の渦虫綱無腸目に分類されていて、その形態や生態は一見ウズムシ類とよく似ている。一方で、原腎管の欠如や上皮構造の特異性など、扁形動物とは一線を画する形質も持つ。その

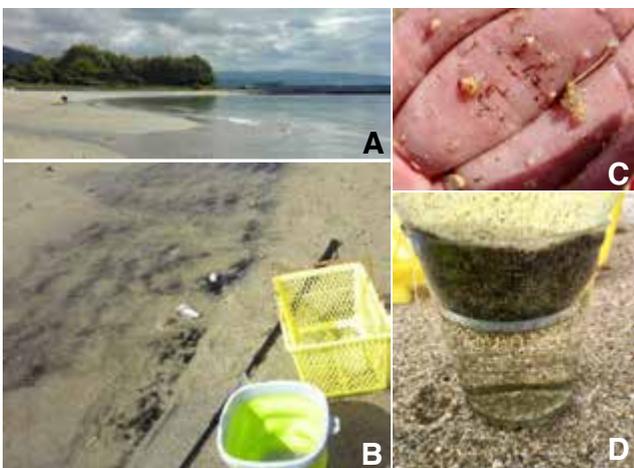


図1 ナイカイムチョウウズムシの生息地と採集方法
A: 初夏の周南市の海岸。
B: 干潮時にナイカイムチョウウズムシ（黒い帯状の広がり）が現れる。
C: 手で砂を掬うとナイカイムチョウウズムシを見ることができる。
D: 走地性を利用したメッシュ漏斗による採集方法。

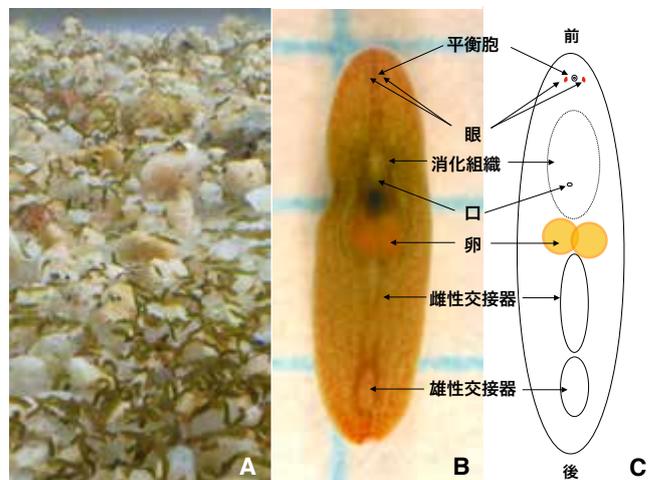


図2 ナイカイムチョウウズムシ
A: ナイカイムチョウウズムシと採集地の砂。
B: 性成熟個体の拡大像。背側から撮影している。背景は1mm 方眼。
C: 模式図。

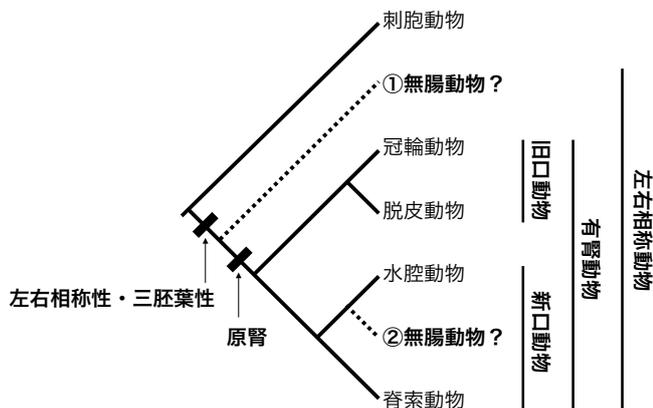


図3 無腸動物の系統的位置に関する2つの説。①現生の左右相称動物の中で最も早く分岐したグループで、旧口動物と新口動物を合わせた群（有腎動物）の姉妹群になるという説と、②新口動物に含まれるという説があり、決着がつかない。

系統的位置は長年議論されてきたが、1990年代以降、分子系統解析により少なくとも扁形動物でないことは明らかになり (Katayama et al., 1993; Carranza et al., 1997), 無腸動物門という独立の門が立てられた (Ruiz-Trillo et al., 1999). その後、ゲノミクス解析により珍渦虫類との類縁性が示唆され、両者を珍無腸動物門としてまとめることも提唱された (Philippe et al., 2011). この場合、無腸動物は亜門または綱の階級とされる。

では(珍)無腸動物は動物界の中でどのような系統的位置にいるのか? 主に2つの説がある(図3)。一つは現生の左右相称動物の中で最も早く分岐したグループだという説、もう一つは新口動物のグループに入るという説である。互いに全く異なる説だが、それぞれを支持する論文が交互に出続けており、いまだに決着がつかない (Cannon et al., 2016; Philippe et al., 2019). どちらの説が正しいかによって、動物の進化の全体像が変わってしまうため、進化学的に注目されている動物群である。

無腸動物は雌雄同体で、無性生殖と有性生殖の双方の様式が報告されている。有性生殖では雌雄同体の成熟個体が他個体と交配し、体内受精する。ナイカイトウウズムシの場合、受精卵は親の体内で第一卵割中期で発生を停止しており(この現象も興味深い)、海中の砂粒等に受精卵が産み付けられると卵割が再開する。その卵割は新口動物型の放射卵割でも、旧口動物型の螺旋卵割でもない、二つ組み螺旋卵割という独特な様式をとる。4~5日後には繊毛を持つ孵化幼生となり海水中に泳ぎ出る。このユニークな発生が、他の動物群の発生様式と進化的にどのような関係にあるのかも興味深い謎である。

無腸動物と微細藻類の内部共生とその進化

ナイカイトウウズムシは無腸動物の中の無腸目、コンボルタ科に分類される。この科はかなり多様化したグループで、体内に共生藻を持つものが多い。ナイカイトウウズムシもテトラセルミス属の微細藻類と共生関係にある。親が産んだ卵は共生藻を持たず、ふ化した幼生が環境中の共生藻を口から取り込んで緑色の幼若体になり成長する(図4A)。このような共生体の獲得様式を水平伝搬と呼ぶ。無腸動物は全て水平伝搬で共生藻を獲得すると考えられてきたが、2007年にワミノア属の無腸動物が親の体内で卵形成時に共生藻を取り込む(垂直伝搬と呼ぶ)ことが報告された(図4B, C) (Barneah et al., 2007). 垂直伝搬は水平伝搬から進化したと考えられ、宿主と共生体の依存関係がより深化していることが示唆される(図4D)。宿主と共生体が一体化していく進化はミトコンドリア

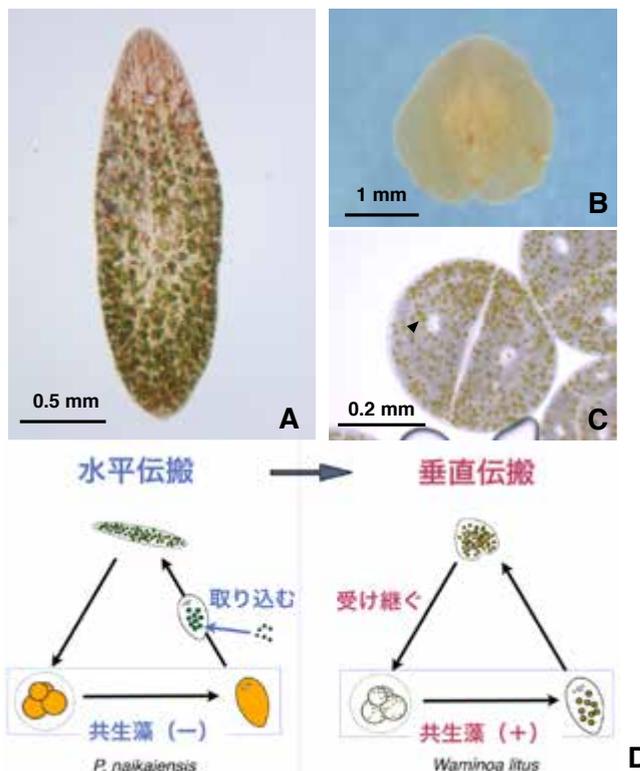


図4 無腸動物の共生藻と、その獲得様式

- A: ナイカイトウウズムシの幼若体。緑色の共生藻テトラセルミスが体内に散在している。
- B: ワミノミアチウウズムシの成体。
- C: ワミノミアチウウズムシの2細胞期の胚を押しつぶした写真。2種類の渦鞭毛藻が親から卵に伝達されている。褐色球状で小型のシンビオディニウムと大型のアンフィディニウム(矢頭)が剖球中に散在する。
- D: 無腸動物に見られる2つの藻類獲得様式と、その進化。

や葉緑体に見られるように、生物の進化において飛躍的イノベーションをもたらしてきた。水平伝搬から垂直伝搬への進化はその重要な契機の一つである。私たちはワミノアとナイカイトウウズムシの共生藻獲得機構を比較することで、この進化にも迫りたいと考えている(彦坂-片山 and 彦坂, 2010; Hikosaka-Katayama et al., 2012).

おわりに

無腸動物の研究者は世界的に見ても多いとは言えない。その理由の一つは実験材料をどこで採集しようやって飼育できるかがほとんど知られていなかったためだと思われる。ナイカイトウウズムシは分布が広く、飼育も容易で、日本における無腸動物研究を進展させる優れた材料になると期待される。紙幅の都合で書けなかったが、この動物には他にも様々な面白い現象があるので、ぜひ多くの研究者に使っていただきたいと考えている。

謝辞

ナイカイトウウズムシの調査は公益財団法人水産無脊椎動物研究所の個別研究助成(2017年度)を受けて行いました。感謝いたします。

引用文献

- 当研究所のウェブサイトに掲載いたします。
<https://www.rimi.or.jp/umiushi107-p9/>