

# 「色違い」のヒモムシから分かったこと

## Findings from different-colored ribbon worms

東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所 池永 潤平 (Ikenaga, Jumpei)

### ヒモムシの研究を始めるまで

ヒモムシとは紐形動物門に属する動物の総称であり、その名の通り紐のような、極めて細長い体の特徴の動物である。このヒモムシであるが、私が持っている、およそ海の生物を網羅しているような図鑑であっても、ヒモムシのために割かれているのはどれもせいぜい1ページであることが物語るように、決してメジャーとは言えない動物である。実際、私も大学に入って生物学を専攻するまでは、この動物のことは知らなかった。そんな私が、ヒモムシの研究をはじめるとききっかけになったのは、大学3年の頃の臨海実習であった。そこでは、私が認知していたよりもはるかに多くの種類の動物が海には存在していることを知り、私にとっては全く謎につつまれていた「メジャーではない生物」について興味をもった。研究室配属では臨海実験所に配属となり、指導教員であった吉田学先生には「マイナーな生物の研究をしたい」と伝えた。吉田先生は懇切に相談ののって下さって、「マイナーといえども、研究をするにはある程度個体数を確保できる必要がある」とおっしゃり、「ヒモムシなんかはどうか」と勧めて下さった。特に動物種についてはこだわりのなかった私は、「じゃあ、それで」と言わんばかりの返事をし、ヒモムシの研究に取り組むことになった。とはいえ、どんな種を使って、どんな研究をすればいいのか、ということとは全く定まっていなかったため、とりあえずは研究室メンバーの採集に同行するなどして、いろいろなヒモムシを採集しては観察を行った。

### タカクラヒモムシとその同胞種

2月の大潮のころに、三崎臨海実験所周辺の磯で採集されたヒモムシを観察していたところ、見た目はよく似ているが、体の色が異なる2種類のヒモムシが含まれていることに気付いた。この2種類は、体の大きさ、頭部の形、頭の先の白い模様など、あらゆる点で共通した特徴を持っていたが、体色がそれぞれ青

紫色（紫タイプ）と黄色（黄タイプ）であるという点のみが異なっていた（図1）。私は、これら2種類が別種なのか、それとも同じ種内の色彩変異なのかという疑問を抱いた。また、これらの個体を実体顕微鏡下で観察すると、生殖巣の内部が透けて見え、ほとんどの個体で卵もしくは精子で満たされていた（後で判明したことであるが、2種類とも三崎では2～3月が生殖時期であった）。生殖巣付近にカミソリで傷をつけると、卵もしくは精子がこぼれ出てくるので、そのようにして2種類それぞれから卵と精子を採集し、掛け合わせ実験を行った。その結果、同じ色の個体由来する卵と精子どうしは受精し、発生が進んだ。一方で、異なる色の個体由来する卵と精子どうしは受精が起らないことが判明した。すなわち、両タイプの間には受精時の生殖隔離が存在し、別種と認識すべきであることが分かった。この時点では、私はこれら2種類が何という種であるかは認識していなかった。後日図鑑で同定を試みた結果、タカクラヒモムシ *Kulikovia alborostrata* (Takakura, 1898) という種と特徴が一致していた。この種は、1898年に高倉卯三磨博士によって記載された種であるが、たまたま実験所に原記載論文が掲載された1898年の動物学雑誌が収蔵されていた。原記載論文を調べたところ、タイプ産地は同じく三崎であることが判明したのに加え、次のような記述があった。「體色ハ一定セズシテ暗黄色ニ紫光ヲ帯ブルモノヨリ淡紫色ニ至ル變化アリ」。この記述によると、1898年当時でも、三崎には、現在と同じように紫タイプと黄タイプの個体が棲息しており、それらがタカクラヒモムシという同一種内の色彩多型として捉えられていたのだと考えられる。私が行った掛け合わせ実験は、当時の記述とは相反する事柄を支持するものとなった。その後、分子データを用いた解析も行ったが、やはり、この2種類の間では遺伝的交流が行われていないことが示唆された。これらをうけて、三崎に産する紫タイプ個体を引き続きタカクラヒモムシ *K. alborostrata* とし、黄タイプ個体は *K. fulva* (Iwata, 1954) として発表した (Ikenaga et al., 2021)。また、この2種に関して興

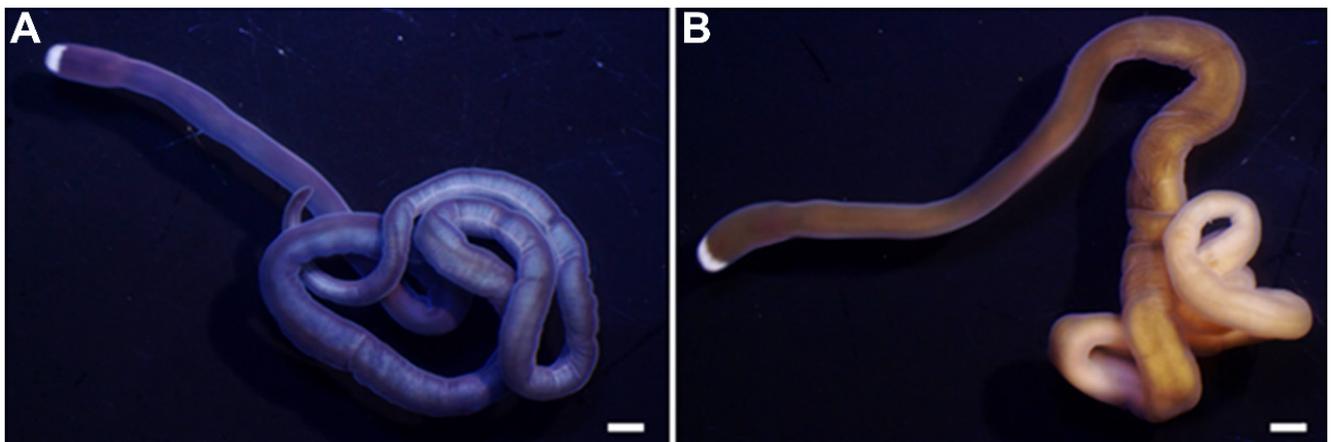


図1 神奈川県三崎で採集された「タカクラヒモムシ」の (A) 紫タイプ個体 (*K. alborostrata*) および (B) 黄タイプ個体 (*K. fulva*)。スケールバーは1 mm。

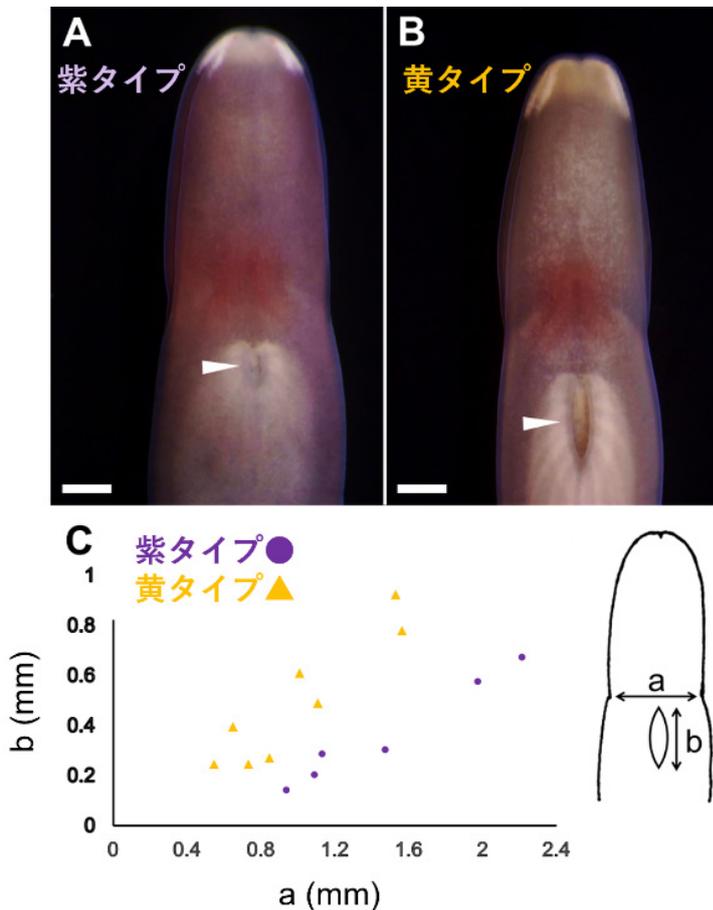


図2 (A) *K. alborostrata* (紫タイプ) および (B) *K. fulva* (黄タイプ) の口 (矢じり). スケールバーは 1 mm. (C) 両種について頭部と胴部の境界の幅 (a, 横軸) と口の長さ (b, 縦軸) の関係を個体ごとにプロットした.

味深いのは、16S 遺伝子の遺伝的距離（2 種間の遺伝子の異なり具合を表す指標）がわずか1.6%の個体が存在するという点である。この値は、別種と判明しているヒモムシどうしの遺伝的距離としては2021年時点で最小の値である。すなわち、この2種は遺伝的にはさほど分化が進んでいないのにも関わらず、異種配偶子との交雑を避け、同種の配偶子と選択的に受精できるような仕組みを既に獲得しているのである。

## 2種間の形態的な違い

ところで、これら2種の間で異なる外見の特徴は、体色のみだろうか。実は、体色以外にも異なっている点がこれまでに1つだけ見つかった。口の大きさである。ヒモムシでは頭部の腹側にスリット状の開口部があり、そこから摂餌を行う。2種の数個体ずつについて、体幅（頭部と胴部の境目にあるくびれた部分）および口の大きさを測定した結果、体幅に対する開口部の長さの比が、2種間で異なっていることが判明した（図2）。私は、この違いが摂餌様式の差異を反映しているのではないかと考え、これら2種の餌種を調べた。しかしながら、両種とも共通して多毛類一般を餌としていることが分かり、2種間の摂餌様式の差異はほとんどないのではないかと考えられる。

## 2種間の生殖隔離

話は戻るが、2種間の生殖隔離について、さらに詳しく調べた。先に紹介した交配実験と同じく、同種間および異種間の配偶子で受精を試みたが、今回は受精の際に使用する精子の濃度をさまざまに変えて行ってみた。結果は図3の通りであるが、1 ml 海水中あたり100個の精子が含まれるような濃度で受精を行うと、同種の卵と精子の間ではほぼ100%受精が起きたが、異種の卵と精子の間ではほとんど受精が起らなかった。一方

で、1 ml 海水中あたり1000~10000個の精子を含むような濃度で受精を行うと、同種の卵と精子の間ではほぼすべて受精が起きる点はそのままであったが、今度は異種の卵と精子の間でも一部受精が起きた。ただ、この1 ml 海水中あたり100~10000個の精子というのは、非常に高い濃度であり、一見しても海水の白濁具合が分かる程度である。この2種は体外受精（ほかの多くの海産ヒモムシもそうである）であり、精子は体から海水中に放出されるが、すぐに海水中に拡散するため、自然界で精子がそのような濃度で存在していることは、とうてい起こりえない。すなわち、この2種の場合、異種精子が高濃度で存在する場合は異種間受精が生じるが、自然界では、精子の濃度が低く保たれるため、生殖隔離が維持されていると理解できる。ちなみに、異種間受精した胚の発生を追ってみると、ピリディウム幼生期までは、正常な胚と遜色ない発生をすることは観察できているが、変態期以降は追えていない。（一般的にピリディウム幼生を室内で変態させるのは容易でなく、この2種については、同種間の受精で生じた正常胚であっても変態は観察できていない。）いずれにせよ、本実験では、条件によっては交雑が生じるという点で2種間の生殖隔離は完全ではないが、同種配偶子間の受精率と異種配偶子間の受精率には明確な差があり、やはり配偶子が何らかの仕組みで相手と同種なのか異種なのかを判別しているということが再確認された。

また、多くの海産動物の卵は、ゼリー状の物質で覆われている（ゼリー層）ことが多い。このゼリー層は、卵をメッシュで濾すことにより物理的に除去できる。このようにしてゼリー層を除去した卵を用いて、異種精子に対して受精する割合を調べたが、ゼリー層をまとったままの卵を用いた場合と差はなかった。つまり、ゼリー層には、異種精子の侵入をブロックするような機能は無い可能性が高い。また、顕微鏡で観察を行うと、

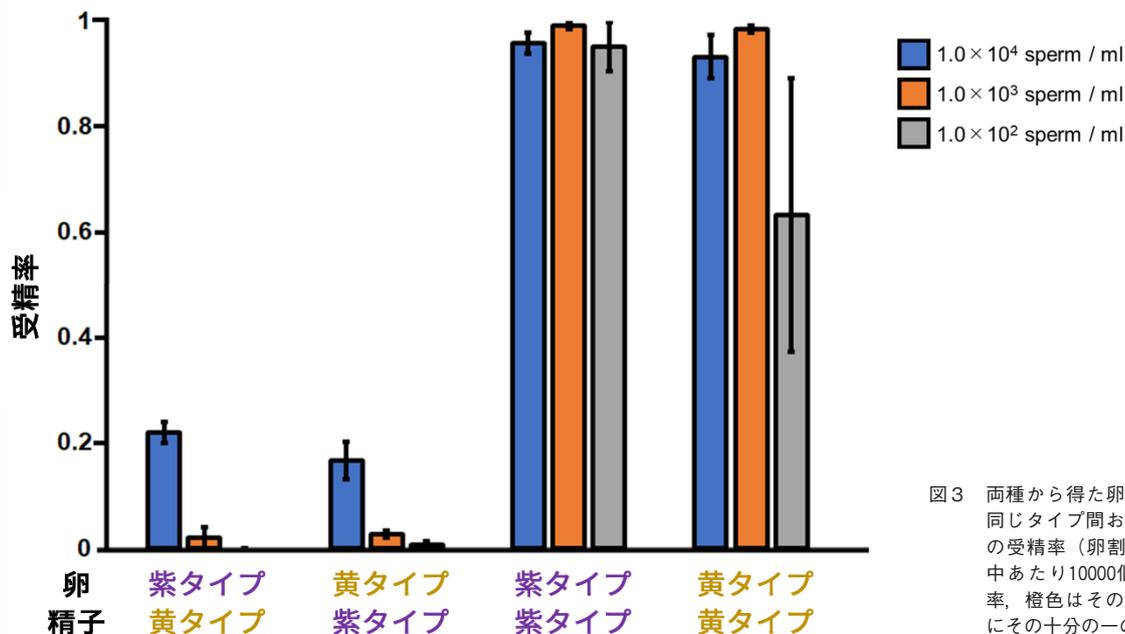


図3 両種から得た卵および精子について、同じタイプ間および異なるタイプ間での受精率（卵割率）。青色は1 ml 海水中あたり10000個の精子濃度での受精率、橙色はその十分の一、灰色はさらにその十分の一の精子濃度での受精率。

異種精子であってもゼリー層を通過し、卵表面までは到達するのが観察できる。これらの結果から、受精の際に卵が異種精子か同種精子かを判別する仕組みは卵の表面に存在するのではないかと考えている。現在は、卵の表面に存在する分子に着目し、そのような仕組みを担う分子を探しているところである。

### 実験動物としてのタカクラヒモムシ

ここまではタカクラヒモムシを用いた研究について紹介したが、最後に実験動物としてのタカクラヒモムシについて紹介して終わりたい。先に紹介したように、本種はたまたま見出した種であるが、受精に関する実験を行うには大変都合の良い動物であるように思える。というのも、ほとんどの動物では、生殖巣から人為的に摘出した卵は、そのままでは受精する能力をもちあらず、受精できる状態（卵成熟）に持って行くには特殊な物質にさらす必要がある。しかも、卵成熟を誘起する物質は種によって異なるため、そのような物質が同定されていない動物種においては、産卵期に自然に放卵がおこるのを待つしかない（ただし、種によっては、卵成熟を誘起する物質は見つかっていないくとも、明暗や水温などをコントロールし、放卵を誘発することで実験ができる場合もある）。タカクラヒモムシの卵の場合、卵巣から摘出して間もなくは未成熟であるが、海水中に数十分おいておくだけで成熟する。私が初めに試したように、ただ何となく生殖巣を切り出して見て、受精まで観察できたのは、このような特徴の賜物であり、ある種幸運であったといえる。また、もう一つの大きな特徴は、一個体から何度でも配偶子を取り出せる点である。ヒモムシ類では、その細長い体の中央部あたりから後端にかけて生殖巣が発達するが、後端を切断することで、そこからこぼれ出る配偶子を実験に用いることができる。切り出された残りの部分はというと、1～2日で切断面が閉じ、後端を再生する。このとき、残りの部分に含まれる

生殖巣はそのままであるため、再び新しい後端から配偶子を取り出すことができる。5 mm くらいの断片におよそ数百個の卵が含まれるため、1 個体いれば数十回の実験にたる。他の動物から生殖巣を取り出すには、1 個体まるまる解剖したり産卵を誘発したりする必要があるため、配偶子を得られるのは、通常1 個体につき1 回である。しかも、一度体内を離れた卵は、24時間程度でその機能を失うため、次に実験を行う際は、新たな個体を使用する必要がある。一方ヒモムシの場合、上記のようにして、後端からちびちび使っていくことで、実験に使わない分の卵は、体内で「新鮮なまま」次の実験まで保持しておくことができるのである。

このようにユニークな特徴を持った種であるが、現状研究室内で世代を回すことができないため、遺伝学的な実験ができないなど、まだ実験動物としては不十分な点が多く残っている。今後、飼育方法を工夫するなどによって、これらの課題を解決できれば、海産動物の受精現象を研究していく上で良い実験動物となり得るのではないかと考えている。

### 参考文献

- Chernyshev A. V., Polyakova N. E., Turanov S. V., Kajihara H. (2018) Taxonomy and phylogeny of *Lineus torquatus* and allies (Nemertea, Lineidae) with descriptions of a new genus and a new cryptic species. Syst. Biodivers. 16: 55-68.
- Ikenaga J., Kajihara H., Yoshida M. (2021) *Kulikovia alborostrata* and *Kulikovia fulva* comb. nov. (Nemertea: Heteronemertea) are Sister Species with Prezygotic Isolating Barriers. Zool. Sci. 38(2): 193-202.
- Iwata F. (1954) The fauna of Akkeshi Bay: XX. Nemertini in Hokkaido. J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VI Zool. 12: 1-39.
- 高倉卯三磨 (1898) 三崎近傍産紐虫 (Nemertine) の分類. 動物学雑誌. 10: 38-44, 116-120, 184-187, 331-337, 424-429.