

頭だけで生きられる!?

光合成ウミウシ“囊舌類”の不思議な能力

Surviving only with the head!? The wonderful abilities of the sacoglossan sea slugs

奈良女子大学大学院 博士後期課程 三藤 清香 (Mitoh, Sayaka)

はじめに

皆さんは、“ウミウシ”と聞くとどのような動物を思い浮かべるだろうか。多くの方は、背中に花のようなエラを背負った青やピンクの華やかな色の動物が思い浮かぶのではないだろうか。近年はキャラクターグッズで目にすることも多いかもしれない。もしくは、磯遊びの際にたまたま目にする、大きくて黒っぽい牛のような形をした動物だろうか。いじめると紫の汁を出す、というイメージをもっている人も多いだろう。どちらもウミウシの仲間間違いないが、ウミウシにはさらに多種多様な仲間が存在している。そのうちのひとつ、少しマイナーなウミウシのグループが、今回紹介する“囊舌類”である。

かわいい囊舌類

囊舌類は、餌を食べる際に使用する“歯舌”という尖った特殊な歯と、使い終わった歯舌を収納する“舌囊”という袋状構造をもつことからその名前が付いた。多くの種は大きくても全長2 cm程度で、比較的小型である。頭部には耳のような形をした1対の触角を備え、触角の後ろには小さな黒い目がのぞく(図1)。その顔は一見ウサギのようで愛らしい。さらに体の周囲を側足というひらひらした構造で覆われるものや、二枚貝のような貝殻をもったもの、背中に多数の突起を背負った羊のような顔をしたものと、囊舌類の中にも様々なウミウシが存在す

るが、いずれも愛嬌のある見た目をしている。

もう一点、囊舌類の見た目の大きな特徴を挙げるとすれば、緑色をしていることだ。しかしこの緑色は、囊舌類自身がかもつ色ではない。囊舌類は歯舌で藻類の細胞壁に穴をあけ、中身を吸い出すという摂餌方法をとる。この時取り込まれた葉緑体の色が透けて見えるため、囊舌類は緑色をしているのだ。多くの種は、葉緑体だけ体細胞に取り込み、他の細胞内容物は消化してしまう。では、なぜ葉緑体だけ取り込むのだろうか？これは囊舌類の一風変わった能力、“盗葉緑体現象”に関連している。

自分で光合成するソーラーパワー・ウミウシ

盗葉緑体現象は読んで字のごとく、餌とする藻類の葉緑体を盗み、自身で光合成を行う特殊な餌の利用方法である。光合成を行う藻類などの生物と共生し、その栄養を受け取る生物はサングのように数多く存在するが、葉緑体だけを取り出して光合成に利用する動物は非常に珍しい。この現象が発見されたのは1960年代のことである。岡山大学の川口博士らが囊舌類の一種クロミドリガイ (*Elysia atroviridis*, 図2)の細胞を電子顕微鏡で観察したところ、細胞内に餌のミル (*Codium fragile*)の葉緑体が存在することを発見したのだ (Kawaguti & Yamasu, 1965)。他生物を自身の細胞に取り込み利用する様子は、細胞内共生の過程に類似している。そのため細胞内共生の進化の過



図1 囊舌類の一種、コノハミドリガイ (*Elysia cf. marginata*)。当研究室で継代飼育を行っている。

程を解き明かす手がかりとしても注目され、その後は生理学や遺伝学的な多くの研究が行われてきた。現在では繊毛虫、渦鞭毛藻、有孔虫等も盗葉緑体現象を示すことが発見されているが、動物でこの現象を示すものは依然稀であり、現在論文報告されているのは、囊舌類42種およびヒラムシ類2種のみである(Christa *et al.*, 2014; Van Steenkiste *et al.*, 2019)。

このように、囊舌類は盗葉緑体現象の担い手として長い間注目を浴びてきた。しかし今回、囊舌類の新たな能力が発見されたのである。



図2 囊舌類の一種、クロミドリガイ (*Elysia atroviridis*)。本州の潮間帯でよく観察される。

大規模な自切と驚異的な再生能力

筆者は2018年頃より、多数の囊舌類を繁殖・飼育してきた。そのうちの一種コノハマドリガイ (*Elysia cf. marginata*) は、囊舌類の中では比較的大型で成長速度が速い。この種を1個体ずつ小さな容器に隔離して飼育を行っていたところ、ある日突然頭と体に分かれていたのである (Mitoh & Yusa, 2021)。

驚くべきことに、コノハマドリガイは元気であった。通常、ウミウシが死ぬときには体が縮んだり、溶けたりする。しかしこの頭だけになったウミウシは切り口がふさがっており、少し動きづらそうにしているものの、他のウミウシと同じように餌を食べていたのである。その上、ちぎれた体側も刺激に反応してかすかに動くだけでなく、心臓の鼓動まで観察された。筆者は不思議に思いつつ、この頭と体を普段通りに飼育し続けた。その結果、頭の切断面から再生が始まり、1週間後に、頭から再生した心臓が鼓動する様子も確認した。頭はその後も再生を続け、発見から約3週間経つ頃には、ややいびつながらも完全な体を再生することができた(図3)。一方で、切り離された体側では再生が見られず、次第に縮んで色あせてゆき、約2週間後には溶けてしまった。このような自切が、この個体を含めて6個体(全飼育個体の約38%)のコノハマドリガイで観察された。その中で比較的若い個体(とはいっても、いずれも孵化後半年を超える高齢である)は同様に体が再生し、より高齢な個体は再生しないまま数日のうちに死亡した。

これと同様の現象を、クロミドリガイでも観察した。こちらは少し状況が異なっており、寄生者との関係を調べる実験中にあったのだが、内部寄生者であるカイアシ類が体内に入り込んでいる寄生個体82個体中3個体(4%)で自切が見られた。そのうち2個体はコノハマドリガイ同様に約1週間で心臓の再生を始め、最終的に完全な体を再生することができた。興味深いのは、カイアシ類に寄生されていない64個体では、自切が全く見られなかったことである。

自切は、自切面となる首元の溝を細い糸で軽く締めることでも誘導可能であった(図4)。孵化後5か月程度の若いコノハマドリガイ6個体に首絞めの操作を行ったところ、糸がずれた1個体を除く5個体において、20時間ほどで自切が生じた。切り離された体は、元の体全体の約80%にも及んでいた。自切し

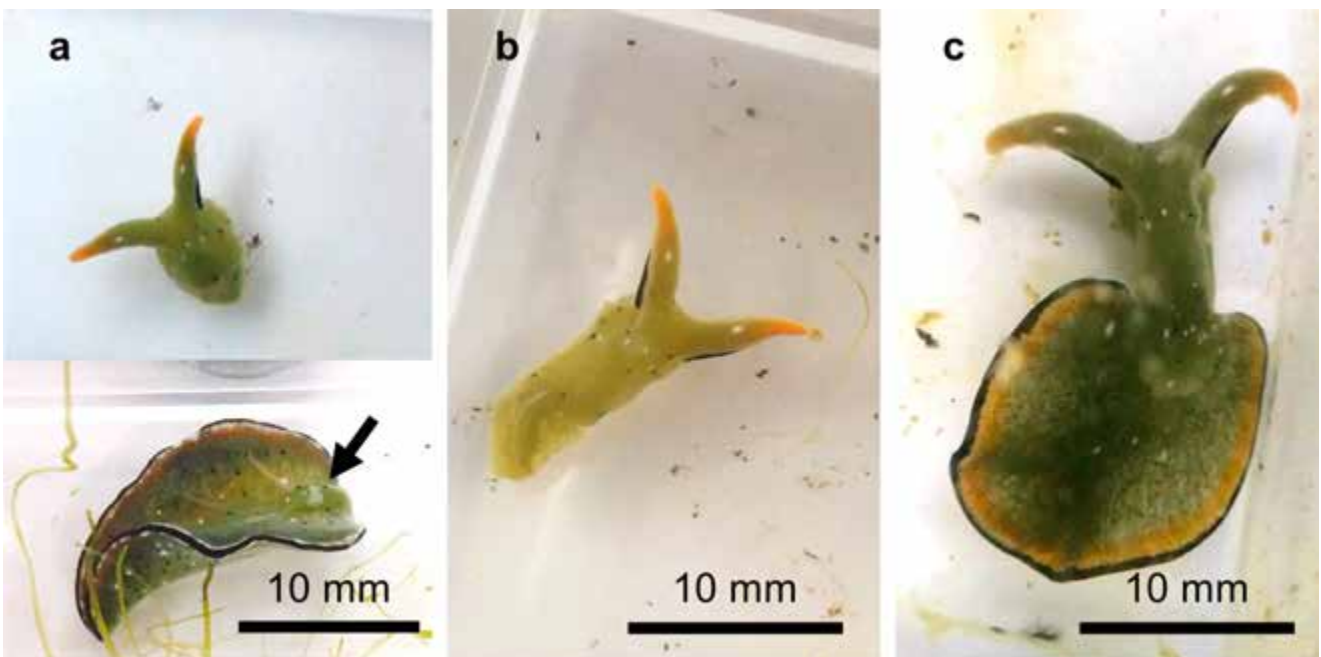


図3 コノハマドリガイ (*Elysia cf. marginata*) の再生の様子(図中の矢印は心臓を指す)。a: 自切直後, b: 自切から7日目, c: 自切から22日目。



図4 コノハマドリガイの自切面 (aの円で囲んだ部分) と、自切を誘導する首絞め実験の様子 (b)。首はあくまでも軽く締めただけで、糸でくびり切ったわけではない。

た頭はいずれも、約1週間で心臓を再生し、約3週間で完全な体を再生した。捕食者の攻撃を模して、ピンセットで側足を傷つけたり頭をつまんでみたりもしたものの、こちらでは自切は誘導されなかった。

この発見の意義

自切は一般的に、「体の一部、手足、付属肢などを自発的に切り離すこと」と定義される (Fleming *et al.*, 2007; Higham *et al.*, 2013)。自切と聞くと、トカゲの尻尾切りを思い浮かべる人が多いのではないだろうか。ほとんどの自切はトカゲの場合と同じく、捕食者から身を守るために行われる。また、自切が起こるのは事前に形成された自切面に沿った場所であり、続いて再生が起こる例も多い。トカゲ以外には、クモやカニのような節足動物の脚の自切やヒトデの腕の自切等も有名であるが、いずれも切り離されるのは体の末端部分で、その後再生が起こる。再生能力に限れば、ゴカイやプラナリアは2つに分かれた体の両方から完全な体を再生することができるが、これは通常、自切ではなく無性生殖の一種の“分裂”として扱われる (Brocks, 1997)。また、これらの動物は心室のある一つの臓器となった心臓を備えていない。他の動物をみても、このような完全な心臓をもつ動物が自切で心臓を失って再生するという例は、存在していないようである。

今回囊舌類で発見された自切・再生は、これまでの例から大きく外れている。まず、「体の一部を自発的に切り離している」ので、この現象が自切であることは間違いないだろう。しかし、切り離したのは心臓を含む体全体の約80%であり、決して体の末端部分とは言えない。また、捕食を模した操作で自切が誘導されず、自切開始から完了までに約20時間と非常に長い時間がかかることから、捕食者から逃れることを目的として行っているとも考えづらい。

今後の展望

なぜ囊舌類にだけこのような大規模な自切・再生が可能なのだろうか？ 囊舌類は何のためにこのようなリスクの高い自切を行うのだろうか？ 他に同じ現象を示す動物はいないのだろうか？ この新たに見つかった自切と再生には、多くの謎が存在している。筆者たちは、この驚異的な能力には、囊舌類に特異な盗葉緑体現象が自切後の栄養獲得経路として関係しているのではないかと推測している。今後はこの自切・再生現象のメカニズムや盗葉緑体現象の関連を探るべく、研究を進めていく

予定である。

謝辞

本研究の論文執筆にあたり、ウミウシやカイアシ類の情報提供にご協力頂いた平野弥生博士、中野理枝博士、須藤耕佑博士、藻類培養にご協力頂いた神谷充伸博士、ウミウシと藻類の採集にご協力頂いた田川訓史博士を始めとする広島大学大学院統合生命科学研究科附属臨海実験所の皆様に、感謝申し上げます。また、本稿執筆にあたりコメントを頂きました指導教員の遊佐陽一教授に感謝申し上げます。

引用文献

- Brookes, J. P. (1997) Amphibian limb regeneration: rebuilding a complex structure. *Science* 276: 81-87.
- Christa, G., Händeler, K., Kück, P., Vleugels, M., Franken, J., Karmeinski, D. and Wägele, H. (2014) Phylogenetic evidence for multiple independent origins of functional kleptoplasty in Sacoglossa (Heterobranchia, Gastropoda). *Org. Divers. Evol.* 15: 23-36.
- Fleming, P. A., Muller, D. and Bateman, P. W. (2007) Leave it all behind: a taxonomic perspective of autotomy in invertebrates. *Biol. Rev.* 82: 481-510.
- Higham, T. E., Russell, A. P. and Zani, P. A. (2013) Integrative biology of tail autotomy in lizards. *Physiol. Biochem. Zool.* 86: 603-610.
- Kawaguti, S. and Yamasu, T. (1965) Electron microscopy on the symbiosis between an Elysoid Gastropod and chloroplasts of a green alga. *Biol. J. Okayama Univ.* 11: 57-65.
- Mitoh, S. and Yusa, Y. (2021) Extreme autotomy and whole-body regeneration in photosynthetic sea slugs. *Curr. Biol.* 31: R233-R234.
- Van Steenkiste, N. W. L., Stephenson, I., Harranz, M., Husnik, F., Keeling, P. J. and Leander, B. S. (2019) A new case of kleptoplasty in animals: Marine flatworms steal functional plastids from diatoms. *Sci. Adv.* 5: eaaw4337.