

令和 6 年 5 月 21 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K06290

研究課題名(和文) 広塩性の無腸動物を用いて始原的左右相称動物の浸透圧適応機構に迫る

研究課題名(英文) Research on the osmotic adaptive mechanism of primitive bilaterians using euryhaline acoela

研究代表者

彦坂 暁 (HIKOSAKA, AKIRA)

広島大学・統合生命科学研究科(総)・准教授

研究者番号：30263635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：無腸動物は動物進化初期の始原的左右相称動物の形質を色濃く残しており、多くの動物が浸透圧調節に用いている諸器官を持たない。にもかかわらず瀬戸内海産の無腸動物の一種ナйкаイムチョウウズムシが海水の1/5から2倍まで耐えうる広塩性であることを発見した。かれらの浸透圧適応の研究は初期の動物が浸透圧適応という重要課題に対処していた機構の理解につながる可能性をもつ。そこで我々は高塩濃度/低塩濃度で処理したナйкаイムチョウウズムシにおける遺伝子発現変化、細胞・組織の微細構造の変化等を調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々ヒトを含む動物がどのように誕生し、どのように進化してきたのかは、現代においても未解決の謎である。特に、我々の祖先がいかにして左右相称の体制を持つに至ったのか、その初期の左右相称動物はどのような形態、発生、生理、生態、生活史を持っていたのかは大きな謎である。本研究は、無腸動物という、動物進化の初期段階の始原的左右相称動物の形質を色濃く残していると考えられる動物を用いて、我々の祖先が生物にとって極めて重要な浸透圧適応をどのような機構によって実現していたのかに迫るものであり、動物進化学上大きな意義がある。

研究成果の概要(英文)：Acoel flatworms retain traits of the primitive bilaterians of early animal evolution and lack various organs that most animals use for osmoregulation. Despite this, we found that an acoel species in the Seto Inland Sea, *Praesagittifera naikaiensis*, is euryhaline, able to tolerate up to one-fifth to two times the concentration of seawater. The studies of their osmotic adaptation mechanisms will lead to a better understanding of the mechanisms by which early animals coped with the important task of osmotic adaptation. We therefore investigated changes in gene expression, cell and tissue structures, etc. in *P. naikaiensis* treated with high or low salt concentration sea waters.

研究分野：動物進化学

キーワード：無腸動物 左右相称動物 浸透圧適応 広塩性 ナйкаイムチョウウズムシ 共生藻 *Symsagittifera*
瀬戸内海

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

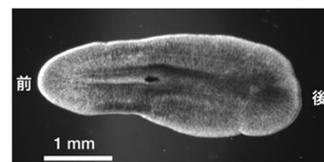
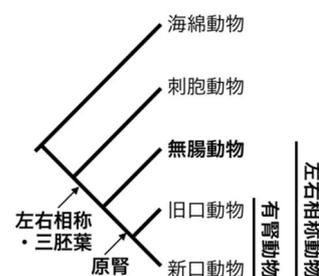
1. 研究開始当初の背景

浸透圧適応は生物にとって最も重要な環境適応の一つである。海産無脊椎動物の多くは体液の浸透圧が環境水にほぼ等張であるため、環境の浸透圧変化に弱い狭塩性だが、幾つかの種は大きな浸透圧変化に耐える広塩性であることが知られている。

動物は低張環境では水の侵入と塩の喪失に対処するため、腎管、腸管、鰓などの器官で塩を回収し低張の水を排出する。逆に高張環境では脱水と塩の侵入に対処するため、塩水を腸で吸収しつつ過剰な塩を鰓などから排出する。無脊椎動物の中でも比較的複雑な体制を持つ環形動物や節足動物などは、このような器官を用いて環境の浸透圧に適応している。また貝類などは硬い殻で浸透圧変化から体を保護している。しかし、すべての無脊椎動物がこのような高度な器官を備えているわけではない。

無腸動物は、きわめて単純な体制の海産動物である。かれらは左右相称動物の中で最も初期に分岐した可能性が示唆されており(右図)、他の左右相称動物(旧口動物+新口動物=有腎動物)が持つ原腎を持たず、鰓も上皮性の腸も持たない。体表は柔らかく、体を保護する殻や外骨格もない。このような体制をみると、かれらは浸透圧変化に対して脆弱だろうと考えたくなるが、実はそうではなかった。

我々は初期の左右相称動物の形態や生態、生理、発生を解明したいと考え、瀬戸内海に広く生息する無腸動物ナйкаイムチョウウズムシ *Praesagittifera naikaiensis* (右下図)を材料に研究を行ってきた。その過程で、この種がきわめて広い塩濃度に適応できる広塩性であり、少なくとも海水の1/5から2倍まで、10倍以上の塩濃度変化に耐えうることを発見した。この単純な動物が、これほど広い塩濃度に適応できるのは驚きであり、極めて興味深い。この動物を用いることで、高度な器官を進化させる以前の動物の祖先が、浸透圧適応という重要な課題にいかに対処していたのか、その原初的機構の理解につながる可能性があると考えた。



2. 研究の目的

以上の背景から、我々は「腎臓、鰓、腸管などの浸透圧適応に関わる器官も、体を守る殻も持たない無腸動物が、いかにして広い浸透圧変化に適応できるのか？」を明らかにしたいと考えた。本研究は上記の問いに答えるための出発点として、環境の浸透圧が変化した時にナйкаイムチョウウズムシに何が起きているかを個体、組織、細胞、そして遺伝子のレベルで明らかにすることを目的とした。これを明らかにすることは、今後かれらの浸透圧適応機構を解明する研究戦略を立てる上で必要不可欠である。

3. 研究の方法

以下の方法で研究を行なった。

(1) 塩濃度の変化に伴う個体の形態変化

高塩濃度または低塩濃度でナйкаイムチョウウズムシを飼育し、飼育個体を定期的にデジタルカメラで撮影した。Image-Jを用いて体サイズ(写真上のピクセル数)を測定し、塩濃度処理に伴う体サイズの変化を測定した。

(2) 塩濃度の変化に伴う細胞・組織の変化

高塩濃度、または低塩濃度でナйкаイムチョウウズムシを飼育し、これらから切片を作製し

て、光学顕微鏡および電子顕微鏡で細胞・組織の変化を観察した。

(3) 塩濃度の変化に伴う個体遺伝子発現の変化

通常濃度、高塩濃度、または低塩濃度でナйкаイムチョウウズムシを飼育し、飼育個体を採取して RNA を抽出した。塩濃度変化に伴う RNA 発現量の変化を illumina NovaSeq6000, PE150 による RNA-Seq により調べた。

(4) 塩濃度の変化に伴う共生藻の変化

ナйкаイムチョウウズムシは体内に共生藻をもち、その光合成産物を利用して生活している。そこで、この共生藻の浸透圧耐性を調べた。ナйкаイムチョウウズムシの共生藻から単離培養系統を作出し、これを用いて高塩濃度または低塩濃度の培養液における共生藻の増殖速度を調べた。

(5) 瀬戸内海産の別種の無腸動物 *Symsagittifera* の浸透圧耐性

瀬戸内海にはナйкаイムチョウウズムシとは異なる種の無腸動物 *Symsagittifera* sp. が生息している。この種と比較することでより普遍的な無腸動物の浸透圧適応機構を明らかにできると考え、この種についても浸透圧耐性を調べた。

4. 研究成果

上記の研究方法により、以下の成果を得た。

(1) 塩濃度の変化に伴う個体の形態変化

高塩濃度で飼育した個体では体サイズの縮小が、逆に低塩濃度で飼育した個体では体サイズの拡大が起きていることが分かった。これは浸透圧による水分の流出/流入によるものだと考えられる。

(2) 塩濃度の変化に伴う細胞・組織の変化

通常海水飼育個体に比べて低塩濃度処理個体では中央柔組織が膨潤、逆に高塩濃度処理個体では萎縮しているのが観察された。(未発表データにつき、組織形態の変化の詳細については省略する。)

(3) 塩濃度の変化に伴う個体遺伝子発現の変化

高塩濃度/低塩濃度処理により発現が変化する遺伝子群を見出した。(未発表データにつき、変化する遺伝子の詳細は省略する。)

(4) 塩濃度の変化に伴う共生藻の変化

海水の0.5倍から1.5倍濃度の培養液では共生藻株の十分な増殖が見られた。このことから、ナйкаイムチョウウズムシ体内の浸透圧がこの範囲で変化しても共生藻は生存できることが示唆された。

(5) 瀬戸内海産の別種の無腸動物 *Symsagittifera* の浸透圧耐性

Symsagittifera も海水の0.5倍から2倍濃度で2週間程度生存できることが確認された。この種もナйкаイムチョウウズムシと同様に広塩性であることが示された。

以上の成果により、環境の浸透圧が変化した際にナйкаイムチョウウズムシがどのような応答をしているのかについて、個体、組織、細胞、遺伝子のレベルを通じた全体像を見渡す基盤ができた。

また体内の共生藻も広塩性であることが明らかになり、宿主が共生藻としてどのような藻類を選択するのかを決める際に、この性質が一つの重要なファクターとなった可能性が示唆された。

さらに、当初の研究計画には無かったが、別種の無腸動物 *Symsagittifera* の広塩性も明らかにすることができ、種間比較研究によるより普遍的な浸透圧適応の機構の解明の基盤を作ることができた。

本研究は、無腸動物という、動物進化の初期段階の始原的左右相称動物の形質を色濃く残していると考えられる動物を用いて、我々の遠い祖先が生物にとって極めて重要な浸透圧適応をどのような機構によって実現していたのかに迫るものであり、動物進化学上大きな意義があると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 彦坂暁、彦坂-片山智恵	4. 巻 13
2. 論文標題 無腸類と藻類の共生進化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BSJ-Review	6. 最初と最後の頁 31-41
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24480/bsj-review.13a1.00219	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 彦坂暁、彦坂-片山智恵	4. 巻 47
2. 論文標題 ナйкаイムチョウウズムシ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 比較内分泌学	6. 最初と最後の頁 44-48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hikosaka-Katayama Tomoe, Okabe Kaede, Mishima Ayumi, Matsuura Ayane, Arimoto Kanako, Shinohara Mie, Hikosaka Akira	4. 巻 41
2. 論文標題 Symbiotic Algae of Acoel Species in the Seto Inland Sea and Symbiont Selectivity in the Hosts	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Zoological Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2108/zs230111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 彦坂暁、有本佳那子、三島鮎実、彦坂智恵
2. 発表標題 無腸動物ナйкаイムチョウウズムシの共生藻選択性
3. 学会等名 日本動物学会第93回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 彦坂智恵、三島鮎実、彦坂暁
2. 発表標題 瀬戸内海産無腸類2種における内部共生藻の微細構造観察
3. 学会等名 日本動物学会広島県例会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 彦坂暁、有本佳那子、彦坂智恵
2. 発表標題 瀬戸内海産無腸動物ナイカイムチョウズムシの実験室における成長と成熟
3. 学会等名 日本動物学会第92回オンライン米子大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 彦坂暁
2. 発表標題 無腸動物と藻類の共生進化
3. 学会等名 日本植物学会第85回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 彦坂暁、西本彩音、彦坂-片山智恵
2. 発表標題 瀬戸内海における無腸類の多様性
3. 学会等名 中国四国地区生物系三学会合同大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ナйкаイムチョウズムシ
https://sites.google.com/view/hikosakalab/P_naikaiensis

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	彦坂 智恵 (Hikosaka Tomoe)		
研究協力者	平野 絢香 (Hirano Ayaka)		
研究協力者	有本 佳那子 (Arimoto Kanako)		
研究協力者	三島 鮎実 (Mishima Ayumi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------