

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20662

研究課題名（和文）クダクラゲの群体形成における発生調節遺伝子の役割

研究課題名（英文）Role of developmental regulatory genes in siphonophore colony formation

研究代表者

小口 晃平（Oguchi, Kohei）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・特任助教

研究者番号：50966249

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：クダクラゲの群体形成メカニズムを解明するために、個虫の出芽領域を対象とした網羅的遺伝子発現解析を行い、さらに得られた候補遺伝子を対象に詳細な遺伝子発現局在の調査と、遺伝子機能解析を実施した。遺伝子発現解析の結果、出芽領域では幹細胞マーカー遺伝子の他に、出芽領域毎に異なる発生調節遺伝子が発現していることを明らかにした。これらの因子は出芽領域のみならず、各個虫内部でも特徴的な発現局在が見られた。遺伝子機能解析を行うため幹を対象としたマイクロインジェクションの手法の確立を行うと同時に、single-cell RNAseq解析にも着手し、上述の遺伝子における群体形成への役割に迫った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多細胞性や社会性の進化に到るまで、細胞や個体など個々の相互作用により組織構造を生み出すメカニズムは、生物進化に重要な役割を果たしてきたと考えられる。特に個体の集合体が組織構造を生み出す仕組みは未だ謎に包まれているため、クダクラゲのように個体のように振る舞う群体に着目し、個体の集合体が組織構造を生み出す仕組みとその進化過程の理解は重要である。本研究成果は、クダクラゲの群体が個体のように振る舞える背景には、後生動物における個体発生と同様の発生機構が存在することを示唆した。よって、個体などの単純な要素から、複雑な組織構造をつくり得るのかというメカニズムを理解する上で重要な知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：In order to elucidate the mechanism of the formation of the siphonophore colony, we conducted a comprehensive gene expression analysis of the budding region of individual zooids, followed by a detailed gene expression localization and functional analysis of the candidate genes. The gene expression analysis revealed that, in addition to stem cell marker genes, different developmental regulatory genes are expressed in each budding region. These factors showed characteristic expression localization not only in the budding region but also inside each zooids. In order to analyze gene functions, we established a microinjection method for stem and started single-cell RNAseq analysis to investigate the role of the candidate genes in the formation of the colony.

研究分野：生態進化発生学

キーワード：クダクラゲ 発生調節遺伝子 幹細胞 個虫分化

1. 研究開始当初の背景

刺胞動物ヒドロ虫綱クダクラゲ目においては、形態と機能が特殊化した個体（個虫）が適材適所に配置されることで、ひとつの個体のように振舞う「群体」が構築される。役割が異なる個虫を適所に配置することで、群体が全体として個体のように振舞うことが可能になると考えられるが、個虫を適所に配置する仕組みは未だ謎に包まれている。

2. 研究の目的

個体のように振舞うクダクラゲの群体形成メカニズムの解明を目指す。特に後生動物において個体の発生を司る遺伝子が、「ひとつの個体のように振舞う群体」の形成を制御するのではないかという仮説を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

クダクラゲ目の一種ヨウラクラゲ *Agalma okenii* を主な実験材料とし、組織学的観察による個虫の出芽過程を明らかにするとともに、全ての個虫が繋がる幹や様々な個虫を対象とした網羅的遺伝子発現解析 (RNAseq) を行い、特定の出芽領域で特異的な発現を示す遺伝子を特定する。さらに特定した遺伝子を対象に RNAi による遺伝子機能解析を行い、群体形成への関与を明らかにする。さらに採集できた様々なクダクラゲ目の種 (ボウズニラ、カツオノエボシ、バレンクラゲなど) および、同様にひとつの個体のように振舞う花クラゲ目ギンカクラゲ類 (カツオノカンムリやギンカクラゲ) における組織形態学的な観察と網羅的遺伝子発現解析を試み、種間比較を行った。

4. 研究成果

(1) クダクラゲの群体形成機構の解明

クダクラゲ類では、全ての個虫が繋がる幹に泳鐘出芽帯と栄養部出芽帯という2つの出芽領域があり、それぞれの部位で形態と機能の異なる個虫が出芽する。幹内部に個虫の出芽位置を決めるメカニズムがあるのではないかと考え、幹の各部位を対象に RNAseq を行った。その結果、各出芽領域において幹細胞分化に関わる遺伝子及び発生調節遺伝子が高発現していることが明らかとなった。特に発生調節遺伝子群の中でも Hox 遺伝子や Wnt 関連遺伝子が各出芽帯において特異的に発現する事が明らかとなった (図 1.)。この結果は、群体全体における個虫の出芽位置の決定においてこれらの遺伝子が関与しており、一つの個体のように振舞う群体の形成にも個体発生と類似した分子機構が関与していることを示唆する。

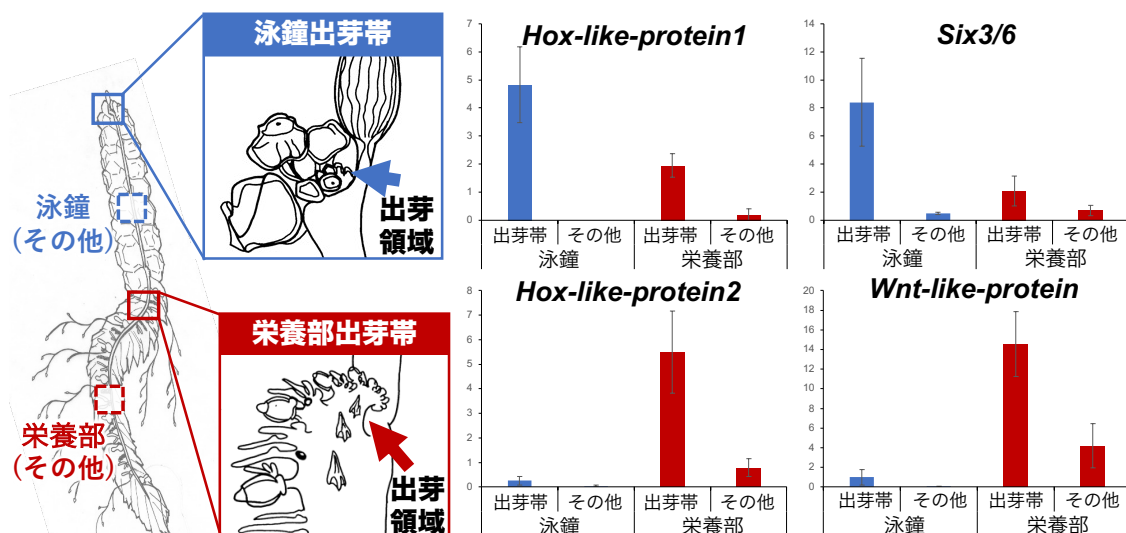


図 1. ヨウラクラゲの群体内部における発生調節遺伝子の発現量の一例

さらに出芽初期と後期の個虫の時空間的な遺伝子発現動態を調べると、刺胞動物において口側一反口側軸を決める発生調節遺伝子群の発現が、出芽初期の個虫の部位特異的に見られることが明らかとなった。本研究成果は、これらの発生調節遺伝子群が、幹において群体全体のパターン形成に関わると同時に、個虫の軸形成にも寄与していることが示唆した重要な知見であると考えられる。最終年度は様々な種においても RNAseq を行う準備を整える事ができたため、今回明らかとなった分子機構の共通性と多様性について種間比較を通し行っていく予定である。

(2) カツオノエボシにおける繁殖器官の発達様式

クダクラゲ類は飼育維持が非常に困難であり、生活史の大部分がわかっていない。特にカツオノエボシは海水浴場等でヒトを刺傷することで有名であり、その生態は注目されているものの、配偶子の観察例がな否ど繁殖生態が謎に包まれていた。本種の繁殖生態を明らかにすべく、繁殖器官と考えられている構造 (Gonodendron: 生殖枝) の組織形態学及び細胞生物学的解析を行い、生殖細胞を探索した。その結果、採集・調査した約30試料の検体において、配偶子と考えられる減数分裂後の1倍体の核を持つ細胞が検出できなかった。そこで、生殖幹細胞のマーカ―遺伝子の発現を *in situ* hybridization 法を用い調べたところ、確かに生殖枝内部において高い発現が見られた。生殖枝は本体から離れ遊離することが観察されており、遊離直後の検体では同様に1倍体の細胞が見られなかったことから、本体から離れたのちに性成熟が起こり有性生殖を行なっているのではないかと考えられた。本研究成果は生活史が未知な本種の繁殖生態の一旦を解明したものであり、国際共同研究を行っている地球規模での集団遺伝学的解析によって広大な海洋環境における本種の生活史が明らかになることが期待される。

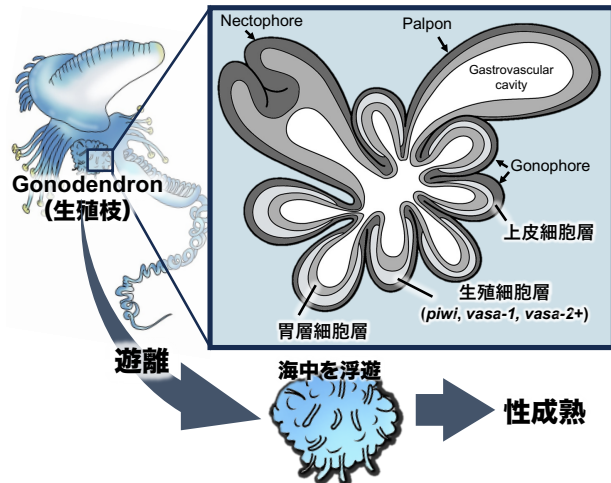


図 2. カツオノエボシにおける繁殖器官の発達様式

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小口晃平
2. 発表標題 刺胞動物ヒドロ虫綱クダクラゲにおける群体形成機構
3. 学会等名 日本動物学会第94回大会
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 小口晃平
2. 発表標題 ヨウラククラゲにおける群体形成
3. 学会等名 第16回刺胞動物研究集会
4. 発表年 2022年～2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------