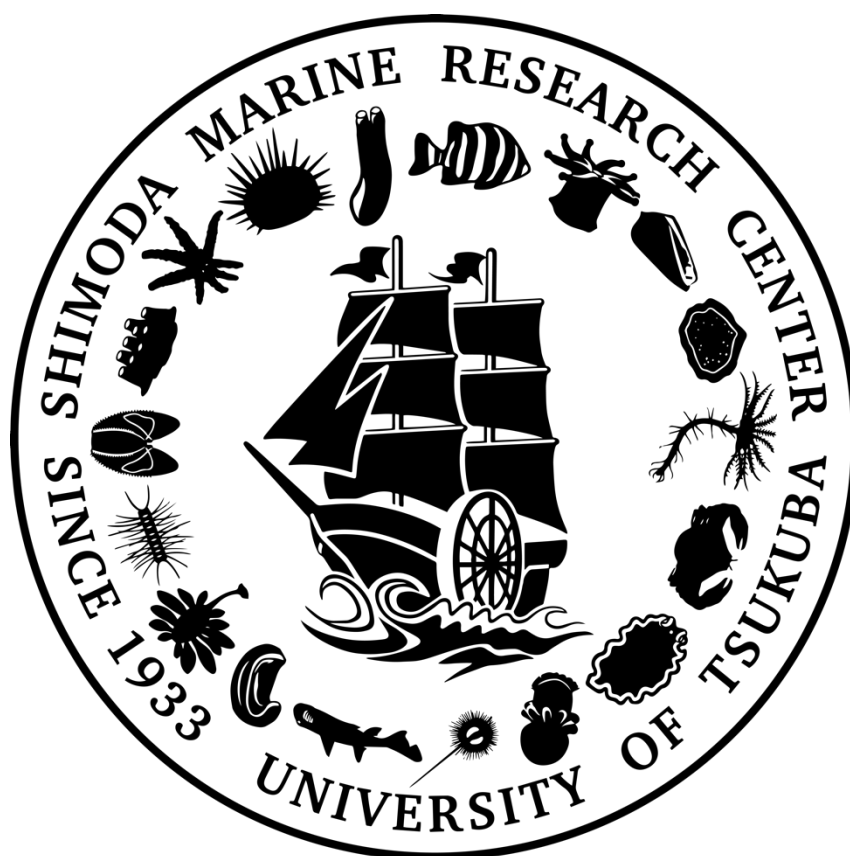


# 筑波大学下田臨海実験センター 年次報告書

平成29年度版

(2017年度版)



2018年3月

## 活動の概要

2004年に筑波大学に赴任後、翌年2005年度から13年の間、センター長を務めてきた。この間、利用受け入れ体制の見直し、第3研究棟の建設、第1・第2研究棟の改修、新研究調査船「つくばII」の建造、屋外水槽の改築、JAMBIOの設立、共同利用共同研究拠点の認定、式根島ステーションの開所、海外教育研究ユニット設置など、研究拠点センターとしての拡張を図ってきた。教員も3名から11名（3名の外国人教員含む）に増加し、幅広い海洋生物学研究、関連する共同利用を行うことが可能となった。センターの研究や施設を年に1度公開する「センター一般公開」は、開始してからすでに8年となり定着している。来年度から、センター長を笹倉靖徳教授にバトンタッチする。センターのさらなる発展に期待したい。

本年度の国際生物学賞では、海洋細菌の分類学、生理学、生態学で顕著な業績をあげられたメリーランド大学特別荣誉教授のRita Colwell博士が受賞した。受賞対象分野が「海洋生物学」であったことから、受賞記念シンポジウムの開催を依頼され、本学事務局のご協力のもと、日本学術振興会との共催で12月に実施した。多くの著名な海洋生物学者を国内、海外から招待することができ、本分野の研究者交流にも意義のあるものであった。当センターの和田助教、Agostini助教、Hall-Spencer教授も講演した。

さて、本年度はフランスのビルフランシェ臨海実験所との二国間国際研究交流がスタートした。ビルフランシェ臨海実験所は世界のマリンステーションの中でも古く、140年近い歴史がある実験所である。海洋学と細胞学・発生学の2部門を有している。共通環境にある両研究所間交流を進めていきたい。センターではこのほか、アメリカ、イタリア、オーストラリアなどのマリンステーションと研究交流を行っているが、海洋環境変動に直面している状況で、こうした国際連携はますます重要になるであろう。昨年からはUNESCO-IOCのGlobal Ocean Science Report (GOSR)の委員を務め、本年度7月に出版された。私は世界のマリンステーションの現状調査をまとめたが、世界には800を超えるマリンステーションが存在することがわかった。世界は海で一つに繋がっている。海に面したマリンステーションは海洋生物学研究の中心的な役割を担うとともに、今後、国際連携を通じて、我々が直面する海洋環境問題、多様性損失問題にグローバルに取り組む主体のひとつとなるべきである。来年度から新たな形で再開するJAMBIOは、そうした国際連携の窓口として、国内のマリンステーション間の交流主体となることが期待されている。

下田臨海実験センター長 稲葉 一男

# 要 覧

## 所在地と環境

センターは下田市街より南へ丘を一つへだて、下田湾の分枝である大浦湾の奥に位置する。湾外は直ちに黒潮洗う外洋であるが、湾内にはわずかながら内湾的環境も散見される。

センターで使用されている動物は、クロイソカイメン、ヒメエダミドリイシ、イソバナ、ヒザラガイ、アメフラシ、ウミフクロウ、タツナミガイ、イセエビ、オニヤドカリ、ウミホタル、ウミクワガタ、コンブノネクイムシ、ツガルワレカラ、ムラサキウニ、アカウニ、バフンウニ、ラップウニ、タコノマクラ、ミダレキクイタボヤ、ミサキマメイタボヤ、ウスイタボヤ、イタボヤなどや各種の魚類である。また、伊豆半島では400種余の海藻が知られている。下田周辺の海には褐藻アラメ・カジメの海中林が発達しており、これは比類なく見事な状態である。

## 施設・設備

建 物 (延3,931m<sup>2</sup>)

第1研究棟 鉄筋3階建 (研究室10, 実験室9, 観測測定室2, 電顕室2, 標本室1, 図書室1, 演習室1, 低温室1, 暗室3, 印刷室1, その他5)

第2研究棟 鉄筋2階建 (研究室3, 実験室5, 講義実習室1, 資料保存室1, 分析室1, 暗室1)

第3研究棟 鉄筋2階建 (研究室4, 実験室1, 共同分析室1, 共同研究スペース1, 会議・セミナー室1, 測定機器室1, その他3)

実習棟 鉄筋平屋 (大実習室1, 室内飼育室1)

海洋観測棟 鉄筋平屋 (海洋観測室1, 資料保存室1, 作業室1, シャワー室1)

宿泊棟 鉄筋3階建 (洋室24, 和室3, 食堂1, 浴室2, 休憩室1)

船 舶 つくばII (19t, 612馬力×2, 定員40名)

カレット (0.5t, 9.9馬力, 定員6名)

SMRC (ゴムボート, 8馬力, 定員4名)

オベリア (FRP手漕ぎボート, 定員2名)

海水設備 水深3 m から新鮮な海水を海拔約13mにある56トンタンクに常時汲み上げ、屋内外の飼育施設および各研究棟の実験室に枯渇なく供給している。

## 利用方法

利用希望者はセンター利用申込書及び関連書類に必要事項を記入し、利用開始日の2週間前までに当センター事務室あてにE-mail またはFax で送る。学生・大学院生が利用する場合は、指導教員より申し込む。利用の諾否については、折り返しE-mail またはFax で通知する。利用申込書はホームページからダウンロード可能である。原則的に休日の利用はできない。また、混み合う期間は利用日など希望に添えないこともある。学生や大学院生が利用する場合には、学生教育研究災害傷害保険（もしくはこれに相当する保険）に加入していることが望ましい。不明な点のある場合は、直接センターに問い合わせしてほしい。臨海実習のための利用を希望する場合は、前年度の12月までにセンター長と連絡をとり利用許可の内諾を得なければならない。さらに、実習開始日の一ヶ月以上前に実施内容に関してセンター担当教員と相談したのち、利用申し込みを行なう。なお、マリンバイオ共同推進機構（JAMBIO）では、毎年度共同利用・共同研究や研究会を公募している。詳しくはホームページ（<http://www.shimoda.tsukuba.ac.jp/~jambio/>）をご覧ください。

## センター職員

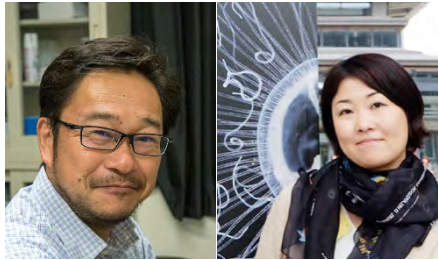
			分野・専門	e-mail address
教員	教授 センター長	稲葉 一男	分子細胞生物学	inaba@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	教授	笹倉 靖徳	発生遺伝学	sasakura@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	教授	Jason Hall-Spencer	環境生態学	j.hall-spencer@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	准教授	谷口 俊介	発生生物学	yag@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	准教授	中野 裕昭	進化発生学	h.nakano@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	助教	柴 小菊	細胞生物学	kogiku@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	助教	和田 茂樹	生物海洋学	swadasbm@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	助教	堀江 健生	動物生理学	horie@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	助教	今 孝悦	海洋生態学	kon@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	助教	Sylvain Agostini	海洋生物学	agostini.sylvain@shimoda.tsukuba.ac.jp
教員	助教	Ben Harvey	環境生態学	ben.harvey@shimoda.tsukuba.ac.jp
専門員		潤米 保男		urume@shimoda.tsukuba.ac.jp
技術専門官		佐藤 壽彦		sato@shimoda.tsukuba.ac.jp
技術職員		柴田 大輔		shibata@shimoda.tsukuba.ac.jp
技術職員		大植 学		ooue@shimoda.tsukuba.ac.jp
技術職員		小高 友実		kodaka@shimoda.tsukuba.ac.jp
技術職員		高野 治朗		takano@shimoda.tsukuba.ac.jp
技術補佐員		高橋 妃呂美		
非常勤	研究員	笹倉 暁子		
非常勤	研究員	寺内 菜々		
非常勤	研究員	野村 真未		
非常勤	研究員	宮澤 秀幸		
非常勤	事務補佐員	土屋 富士子		
非常勤	事務補佐員	土屋 理恵		
非常勤	臨時用務員	山田 順子		
非常勤	臨時用務員	田中 文子		
非常勤	臨時用務員	秋元 公子		
非常勤	臨時用務員	菊池 知佳子		
非常勤	技術補佐員	鈴木 真紀子		
非常勤	技術補佐員	田中 佐貴子		
非常勤	技術補佐員	土屋 絵里		
非常勤	技術補佐員	鈴木 敦子		
非常勤	技術補佐員	大畑 雅江		
シニアスタッフ		土屋 泰孝		

## 分野別研究概要・トピックス

海洋分子生物学部門 細胞生物学分野

稲葉 一男 教授

柴 小菊 助教



### 【研究概要】

私たちの研究室では、さまざまな海産生物を用いて鞭毛・繊毛の構造、機能、進化に関する研究を行っています。鞭毛・繊毛の研究を通して、受精、形態形成、進化、さらには海洋生態といった生物に普遍的に存在するメカニズム、幅広い分野の謎に迫るべく研究を進めています。

We study on the structure, function and evolution of cilia and flagella by using marine organisms. Our goal is to elucidate a universal and common mechanism in fertilization, morphogenesis, evolution and ecology through the study of cilia and flagella.

### 【トピックス】

#### 1) 繊毛が協調して波打つ仕組み

～ウニ胚運動を司る因子の解明～

フランス CNRS・ビルフランシュール・メール臨海実験所、下田臨海実験センター谷口研究室との共同研究により、ウニ胚繊毛の協調運動に必要なタンパク質を特定しました。ウニをはじめ、多くの水生無脊椎動物の胚には多数の繊毛が生えており、水中を自由に動き回ることができます。その際、胚は、密に生えた繊毛をドミノ倒しのように同一方向に順番に波打つことにより、前進することができます。ホヤの精子が卵に近づく走化性を司る因子として私たちが発見した「カラクシン」が、ウニ胚においては繊毛

の協調的運動を司っていることを発見しました。本研究は、繊毛を持つ動物プランクトンの行動メカニズム解明の基礎的知見となります。また、水頭症や内臓逆位など、繊毛が関与するヒト疾患の原因解明の基礎的知見となることも期待されます。

We revealed that an axonemal protein, calaxin is essential for coordinated movement of sea urchin embryos in collaboration with Associate Prof. Shunsuke Yaguchi and Dr. Junko Yaguchi at Shimoda Marine Research Center and research group at the Villefranche-sur-mer Developmental Biology Laboratory, France. These results were published online in Scientific Reports.

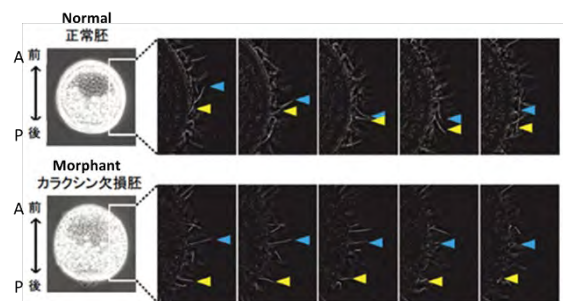


図1. 正常胚とカラクシンを欠損させた胚の繊毛運動。正常胚の側面では前から後ろに向かって繊毛打が伝わっていくが、カラクシン欠損胚では繊毛が打つ方向がバラバラである。

Ciliary movement of normal and calaxin. Morphant embryo. Morphant showed disorganized ciliary beating directions.

## 2) 動物と植物の分かれ道-カルシウム依存的な鞭毛反応に見られる逆関係

鞭毛や繊毛は真核生物に広く保存されている運動装置です。その運動の方向制御は、水中における細胞や胚の運動、形態形成などにおいて非常に重要です。この制御は、カルシウムイオンがカルシウムセンサーを介して分子モーターであるダイニンに作用し、鞭毛・繊毛の波形の対称性を変化させることにより行われます。例えば、鞭毛が対称波を描くと精子はまっすぐ進み、非対称波では円運動を行います。これまでの研究により、動物系統と植物系統が分かれる進化過程において、それぞれ別の「カルシウムセンサー」タンパク質が用いられるようになったことが同グループの研究により明らかにされてきました。本研究では、ウニの精子と海産のプラシノ藻の鞭毛運動をさまざまなカルシウムイオン条件下で比較解析を行いました。その結果、高カルシウムイオン条件下ではウニ精子が非対称波形の鞭毛運動を行うのに対し、プラシノ藻では逆に対称波運動を行いました。逆に、カルシウムイオン濃度が低い条件下では、ウニ精子は対称波で運動を行いますが、プラシノ藻では非対称運動を行うことが明らかになりました。この結果は、真核生物進化の過程でオピストコンタ（動物+菌類）とバイコンタ（植物や藻類、繊毛虫など）において、ダイニンのカルシウムセンサーの獲得が独立に起こったという同グループの説を裏付けるものです。

1. We revealed an inverse relationship of a regulatory mechanism in flagellar motility between animal and plant. They analyzed the flagellar  $\text{Ca}^{2+}$ -response of sperm flagella of the sea urchin *Anthocidaris crassispinathe* and prasinophyte *Pterosperma cristatum*. Their results support the idea previously proposed that the difference in flagellar response to  $\text{Ca}^{2+}$  attributes to the evolutionary innovation of calcium sensors of outer arm dynein in opisthokont or bikont lineage.

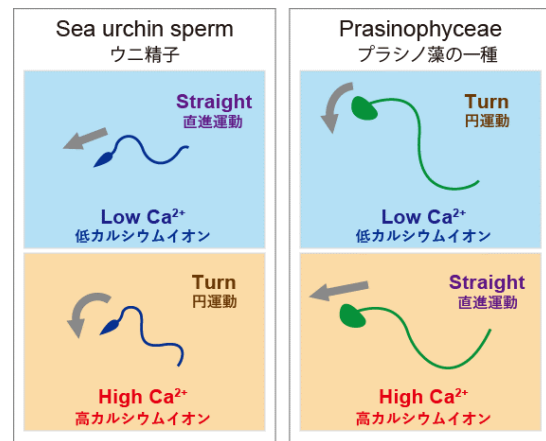


図2. 動物精子とプラシノ藻との間のカルシウム依存的な鞭毛反応に見られる逆関係

Inverse relationship of  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent flagellar response between animal sperm and prasinophyte algae.

### 研究成果

#### 原著論文

1. **Shiba K, Inaba K.**  
Inverse relationship of  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent flagellar response between animal sperm and prasinophyte algae.  
Journal of Plant Research 130, 465-473 (2017)
2. Mizuno K, **Shiba K**, Yaguchi J, Shibata D, Yaguchi S, Prulière G, Chenevert J, **Inaba K.**  
Calaxin establishes basal body orientation and coordinates movement of monocilia in sea urchin embryos.  
Scientific Reports 7, 10751 (2017)
3. Yamamoto R, Obbineni JM, Alford LM, Ide T, Owa M, Hwang J, Kon T, **Inaba K**, James N, King SM, Ishikawa T, Sale WS, Dutcher SK.  
Chlamydomonas DYX1C1/PF23 is essential for axonemal assembly and proper morphology of inner dynein arms.  
PLOS Genetics 13, e1006996 (2017)
4. Valdés (eds) L, Cargo M, Oksfeldt H, Garcia HE, Horn L, **Inaba K**, Inniss L, Isensee K, Kelly B, Lee YH, Mees J, Reed G, Pae S, Pikula L, Pissierssens P, Raymond L, Scraper M, Simcock A, Trios AH.

UNESCO. *Global Ocean Science Report—*  
The current status of ocean science around the  
world.  
UNESCO Publishing, Paris, ISBN 978-92-3-  
100226-7 (2017)

5. **Inaba K.**  
Biochemical purification of axonemal and  
cytoplasmic dyneins.  
In: *Dyneins - Dynein Mechanics, Dysfunction,  
and Disease (2nd Edition)* (SM King, Ed),  
89-112 (2017)  
eBook ISBN: 9780128097014.
6. Shojima T, Hou F, Takahashi Y, Matsumura Y,  
Okai M, Nakamura A, Mizuno K, **Inaba K.**,  
Kojima M, Miyakawa T, Tanokura M.  
Crystal. Structure of a Ca<sup>2+</sup>-dependent  
regulator of flagellar motility reveals the open-  
closed structural transition.  
*Scientific Reports* 8, 2014 (2018)
7. Morita N, **Inaba K.**, Saito Y.  
Post-Embryonic Development and Genital-  
Complex Formation in Three Species of  
Polyclad Flatworms.  
*Zoological Science* 35, 28-38 (2018)
4. Kinoshita N, **Shiba K.**, **Inaba K.**, Umezawa T,  
Motomura T.  
Effect of sex pheromone on the sign of  
phototaxis in brown algal male gametes.  
11th International Phycological Congress,  
Szczecin, Poland, August 13-19. 2017.
5. **柴小菊**  
海の中のミクロの世界—鞭毛と繊毛  
第7回リケジョ・未来シンポジウム、  
東京都 2017年7月17日
6. 佐野マリコ, **柴小菊**, **稲葉一男**  
カルボニックアンヒドラーゼを介したカレ  
イ類精子運動の CO<sub>2</sub> 阻害効果：種間比較  
解析  
日本動物学会第88回大会、富山県、2017  
年9月21-23日
7. **柴小菊**, 坂野太一、古田寿昭、藤原英史、  
馬場昭次、**稲葉一男**  
カルシウムイオンを介した精子鞭毛波形制  
御における cAMP の調整作用  
日本動物学会第88回大会、富山県 2017年  
9月21-23日
8. 吉田薫、**柴小菊**、池永潤平、吉田学  
精子走化性は細胞膜型カルシウム ATP ア  
ーゼによるカルシウムイオン排出によって  
引き起こされる  
日本動物学会第88回大会、富山県、2017  
年9月21日-23日  
野村真未、阿閉耕平、広瀬恵子、**柴小菊**、  
**稲葉一男**  
Microtubule dynamics for rapid coiling  
movement of haptonema in the haptophyte  
algae.  
ハプト藻に存在するハプトネマの急速コイ  
リング運動における微小管ダイナミクス  
“メカニカルコミュニケーションが生み出  
す生体運動の多様性”  
第55回日本生物物理学会年会、熊本県  
2017年9月21日

#### 学会発表

1. **Inaba K.**  
Mystery of sperm carbonic anhydrase - a case in  
flatfish.  
TLL Seminar, Temasek Life Sciences  
Laboratory, Singapore, April 24. 2017.
2. **Shiba K.**  
Roles of calcium in the regulation of sperm  
flagellar movement.  
ビルフランシュ、フランス、2017年7月  
17日
3. Mizotani Y, Suzuki M, Watanabe H, **Shiba K.**,  
**Inaba K.**, Hotta K, Oka K, Tashiro E, Imoto M.  
Chemical genetics reveal the role of  
14-3-3  $\epsilon$  in *Ciona* notochord tubulogenesis.  
The 9th International Tunicate Meeting, New  
York, USA, July 17-21. 2017.
9. **稲葉一男**  
海洋生物学におけるマリンステーションの  
役割と国際連携の将来展望



- シンポジウム「海洋生物学の研究・教育：その将来展望」、愛知県、2017年10月24日
10. 城倉圭、柴田大輔、山口勝司、**柴小菊**、重信秀治、**稲葉一男**  
カプトクラゲ櫛板を構成する新規タンパク質の同定  
第8回繊毛研究会、静岡県、2017年10月26-27日
  11. **柴小菊**、坂野太一、古田寿昭、藤原英史、馬場昭次、**稲葉一男**  
カルシウムイオンを介した精子鞭毛波形制御におけるcAMPの役割  
第8回繊毛研究会、静岡県下田市、2017年10月26-27日
  12. **Inaba K**  
Light-responsive regulation of ciliary motility by a novel subunit of axonemal dynein with a photoreceptor protein.  
International Workshop Dynein 2017, Hyogo, Japan, October 29-November 1, 2017.
  13. **Shiba K**, Sakano T, Furuta T, Fujiwara E, Baba S, **Inaba K**.  
cAMP modulates Ca<sup>2+</sup>-mediated regulation of sperm flagellar waveform.  
International Workshop Dynein 2017, Hyogo, Japan, October 29-November 1, 2017.
  14. Jokura K, Shibata D, Yamaguchi K, Shigenobu S, Makino Y, **Shiba K**, **Inaba K**.  
CTENO64 is a SMC-domain containing protein that connects multiple axonemes in the comb plates of ctenophore.  
International Workshop Dynein 2017, Hyogo, Japan, October 29-November 1, 2017.
  15. **Inaba K**, Magni P.  
Le stazioni marine: una rete per la ricerca ambientale.  
Genova, Italy, November 4, 2017.
  16. **Inaba K**.  
Japanese Marine Stations: Their history and connections to Italian marine stations.  
Invited seminar, Torregrande, Oristano, Italy, November 6, 2017.
  17. **稲葉一男**  
繊毛の構造・運動調節・進化  
総合生命学部バイオフィオーラム、京都府  
2017年11月22日
  18. **柴小菊**、坂野太一、古田寿昭、藤原英史、馬場昭次、**稲葉一男**  
精子走化性時の鞭毛波形制御におけるcAMPの役割  
生体運動研究合同班会議、東京都、2018年1月5日-7日
  19. 木ノ下菜々、**柴小菊**、梅澤大樹、本村泰三、**稲葉一男**  
性フェロモンによる褐藻雄性配偶子の走光性符号の転換  
生体運動研究合同班会議、東京都、2018年1月5日-7日
  20. 野村真未、阿閉耕平、広瀬恵子、**柴小菊**、**稲葉一男**  
ハプト藻ハプトネマにみられる急速コイリング運動のメカニズム  
第50回つくば藻類・プロティストフォーラム、茨城県、2018年2月19日
  21. 伊藤岳、守田昌哉、**柴小菊**、**稲葉一男**、宗原弘幸、山崎彩、古屋康則、武島弘彦、安房田智司  
多様な繁殖様式を持つカジカ科魚類における交尾行動と精子競争に関係した精子の平行進化  
第65回日本生態学会大会、北海道、2018年3月14-18日
  22. 野村真未、阿閉耕平、広瀬恵子、**柴小菊**、**稲葉一男**  
ハプト藻ハプトネマにみられる急速コイリング運動のメカニズム  
日本藻類学会第42回仙台大会、宮城県、2018年3月23-25日
  23. 木ノ下菜々、**柴小菊**、梅澤大樹、本村泰三、**稲葉一男**  
性フェロモンによる褐藻ムチモ雄性配偶子の正から負の走光性への転換

日本藻類学会第 42 回仙台大会、宮城県

2018 年 3 月 23-25 日

24. 中山卓郎、高野義人、野村真未、柴小菊、稲葉一男、谷藤吾朗、河田雅圭、稲垣祐司  
外洋性渦鞭毛藻 *Ornithocercus magnificus*  
に見られる共生シアノバクテリアのゲノム  
解析

日本藻類学会第 42 回大会、宮城県、2018  
年 3 月 23-25 日

笹倉 靖徳 教授

【研究概要】

遺伝学分野では、世代時間が短く室内飼育系が確立しているホヤの 1 種、カタユウレイボヤを用いて、遺伝学的実験手法から遺伝子の発生・生理的機能の解明を進めている。またカタユウレイボヤはナショナルバイオリソース事業に採択されており、その代表機関として各種のトランスジェニック系統や突然変異体系統、DNA コンストラクトなどを収集し、世界の研究者へと提供するプロジェクトを、京都大学と東京大学と共に進めている。



図 1. カタユウレイボヤ *Ciona intestinalis*

【トピックス】

1) 甲状腺相同器官の形成メカニズムの解明

脊椎動物の主要な内分泌器官である甲状腺と相同な器官がホヤにも認められ、内柱とよばれている。これまで、内柱で発現する転写因子群は記載されているものの、内柱の形成メカニズムは分かっていなかった。我々は突然変異体の解析から、*Hox1* が内柱の後方で発現して形成に必須な役割を果たすことを明らかにした。一方、内柱の前端では転写因子 *Otx* が発現している。*Otx* と *Hox1* は互いに発現を抑制し合うことで、内柱の前方と後方のアイデンティティを獲得していることが我々の研究から明らかになった。

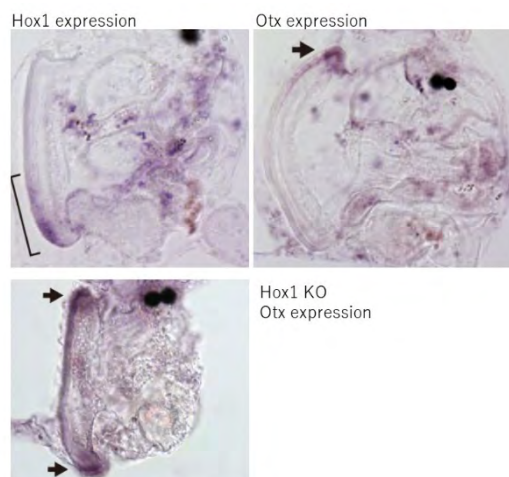


図 2. (上) *Hox1* と *Otx* はそれぞれ内柱の後方（括弧）と前方（矢印）で発現する。(下) *Hox1* をノックアウトすると、*Otx* が前方と後方の両方で発現する。図は、Yoshida et al., *Development* 144, 1629-1634 (2017) より改変。

*Hox1* の内柱後方での発現は、レチノイン酸シグナルを必要とする。レチノイン酸は幼生期では内柱原基と隣接する尾部筋肉及び内胚葉後方で合成されるが、この合成が内柱後方での *Hox1* の発現開始に必要である。また *Hox1* はレチノイン酸合成酵素の発現を促進する活性を持つため、内柱後方でレチノイン酸が作られ、*Hox1* の発現が維持されている。

内柱前方と後方のアイデンティティは、単に内柱形成に働くだけでなく、変態中に形成される体壁筋の正常な伸長に必要である。内柱の前後軸をなくすと、体壁筋の伸長が阻害される。また、内柱後方からはレチノイン酸が分泌されるが、このレチノイン酸は体壁筋の伸長を誘導する活性がある。

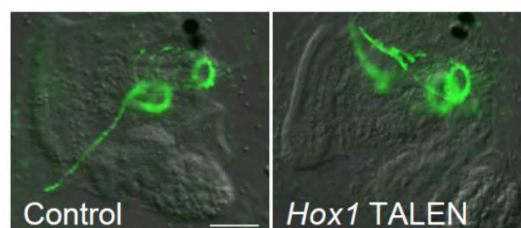


図3. 体壁筋の伸長。緑が体壁筋を表す。コントロールでは左下方向へと伸長しているが、Hox1をノックアウトした個体ではそのような伸長が認められなくなる。図は、Yoshida et al., *Development* 144, 1629-1634 (2017) より改変。

なお、この一連の研究にはゲノム編集技術が使われている。特に Otx は、初期発生において必須の役割を果たす遺伝子であり、内柱以外にも神経系など様々な領域で発現しており、これを阻害するとホヤは内柱形成期まで成長することなく死亡する。Otx の内柱における機能を調べるためには、Otx の初期発生における機能を維持したまま内柱で Otx を破壊する必要がある。このことは、Otx をターゲットとする TALEN を時期および領域特異的に発現させることで達成した。

## 2) ナショナルバイオリソース事業の活動

2017 年度から、ナショナルバイオリソース事業は第 4 期に入った。本年度から、従来のトランスジェニック系統や突然変異体系統に加えて、これらの系統の作製と解析に用いられた DNA コンストラクトも収集し、より安定的なリソース事業を目指すこととなった。2017 年度には、遺伝学分野から延べ 44 件の系統リソースと、24 件の DNA コンストラクトが提供された。提供された系統を用いて、カタユレイボヤ中枢神経系の神経細胞体と軸索投射パターンの解析が発表されるなど (Osugi et al., *PLoS One* 12, e0180227)、本リソース事業はホヤ研究を支える欠かせない事業となっている。本事業については以下の URL に詳細がある。

<http://marinebio.nbrp.jp/>

<http://marinebio.nbrp.jp/ciona/>

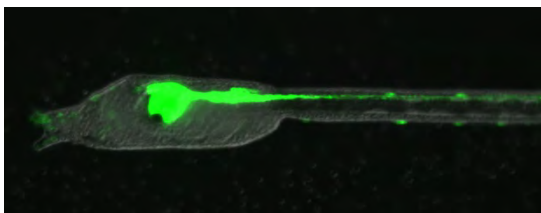


図4. 神経系で Kaede 蛍光タンパク質を発現させる系統

研究成果

原著論文

1. **Ogura Y, Sasakura Y.**  
Emerging mechanisms regulating mitotic synchrony during animal embryogenesis. *Development Growth & Differentiation* 59, 565-579 (2017)
2. Osugi T, **Sasakura Y**, Satake H.  
The nervous system of the adult ascidian *Ciona intestinalis* Type A (*Ciona robusta*): Insights from transgenic animal models. *PLOS One* 12, e0180227 (2017)
3. **Sasakura Y**, Yoshida K, Treen N.  
Genome Editing of the Ascidian *Ciona intestinalis* with TALE Nuclease. *Methods in Molecular Biology* 1630, 235-245 (2017)
4. Yoshida K, Nakahata A, Treen N, Sakuma T, Yamamoto T, Sasakura Y.  
Hox-mediated endodermal identity patterns pharyngeal muscle formation in the chordate pharynx. *Development* 144, 1629-1634 (2017)

Yasunori Sasakura, Professor

**【Research Summary】**

The tunicate *Ciona intestinalis* is splendid experimental model for genetics, because of its relatively short generation time (2-3 months) and established in-laboratory culturing systems that are essential for isolating genetically modified organisms from the ocean. The genetic group uses this tunicate to pursue molecular mechanisms underlying development and physiology of chordates.

*Ciona intestinalis* has been selected in the National BioResource Project (NBRP), Japan. This project is purposed to support researchers by providing genetic resources. Our group is the core center of *Ciona* NBRP, and together with Kyoto Univ. and Univ. Tokyo we are engaged in the project collecting transgenic lines, mutant lines of *Ciona* and DNA constructs for providing them to researchers upon request.



Figure1. *Ciona intestinalis*

**【Topics】**

- 1) Establishing the thyroid gland-homologous organ in *Ciona*.  
Tunicates possess the endostyle. This organ is homologous to the thyroid gland of vertebrates. Although recent studies have revealed the transcription factor genes that are expressed in the

endostyle, the molecular mechanisms for constructing endostyle has not been known.

Our group recently found that Hox1 is expressed in the posterior region of the endostyle. In Hox1 mutants, the posterior part of the endostyle is malformed, suggesting that Hox1 is essential for forming the posterior endostyle. Another transcription factor gene Otx is expressed in the anterior end of endostyle. We found that Hox1 represses expression of Otx and vice versa to create the anterior-posterior axis of the endostyle. Expression of Hox1 requires retinoic acid signaling. At the larval stage, retinoic acid is synthesized in the tail muscle and endodermal tissue near the endostyle primordium. The larval retinoic acid signaling is necessary to initiate Hox1 expression in posterior endostyle. Hox1 activates expression of Raldh2, the gene encoding synthase of retinoic acid, in the endostyle. This mechanism reinforces Hox1 expression in the posterior endostyle.

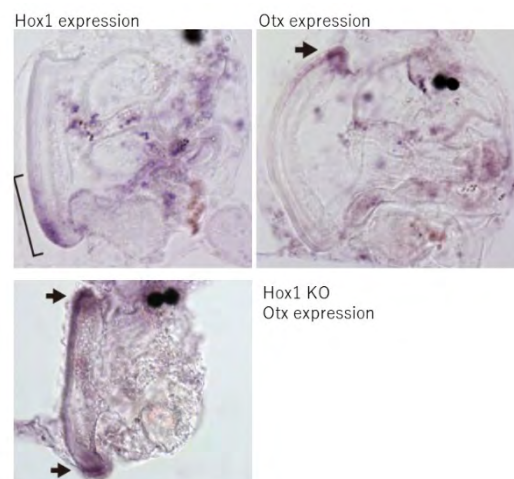


Figure2. (Upper row) Hox1 and Otx are respectively expressed in the posterior (bracket) and anterior (arrow) region of the endostyle. (Lower row) Otx expresses in both anterior and posterior ends of the endostyle in Hox1-knockout animal. The photographs are derived from Yoshida et al., *Development* 144, 1629-1634 (2017)

The anterior-posterior identity of endostyle is necessary for the correct formation of the body wall muscle. For example, retinoic acid secreted from posterior endostyle via Hox1 is capable to attract body wall muscle to elongate toward endostyle. When Hox1 in the endostyle becomes absent, body wall muscle fails to elongate.

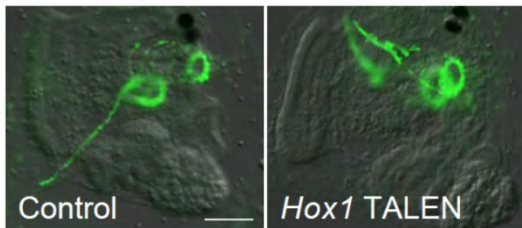


Figure3. Body wall muscle (BWM) elongation. In control animal, BWM is elongated toward the posterior endostyle (green), which is left-bottom area of the photo. In Hox1 knockout animal, such an elongation was not seen. The photographs are derived from Yoshida et al., Development 144, 1629-1634 (2017)

In this experiment, genome editing technology was very powerful particularly for the investigation of Otx function in endostyle. Otx is expressed in the nervous system at the embryonic stage, and this expression is essential for embryogenesis. When Otx function is disrupted, the embryos die before the endostyle-forming stage. For investigating Otx function in the endostyle, we needed to disrupt Otx while keeping its function at the embryonic stage. This was achieved by expressing TALEN that targets Otx in the tissue- and stage-specific manner.

## 2) National BioResource Project.

The fourth stage of this project started from 2017. The project about *Ciona intestinalis* was continued in this stage. As the new attempt, we include plasmid DNAs as the resource project in addition to

transgenic/mutant lines. Because multiple plasmid DNAs have been used to create and analyze the lines in NBRP, plasmid resource will generate synergistic effects on the usability and sustaining of *Ciona* project. This year we provided transgenic lines 44 times and DNA resource 24 times. The manuscript that describes positions of cell bodies and axon projection patterns in the adult *Ciona* was published, in which our transgenic line (PC2>Kaede lines) was used (Osugi et al., PLoS One 12, e0180227). As this manuscript suggests, our resource project is crucial for advance of tunicate researches. Detailed information can be seen in the following URLs:

<http://marinebio.nbrp.jp/>

<http://marinebio.nbrp.jp/ciona/>

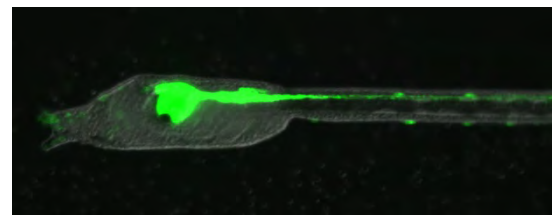


Figure4. Transgenic line of *Ciona intestinalis* that expresses Kaede fluorescent protein in the nervous system.



谷口 俊介 准教授



### 【研究概要】

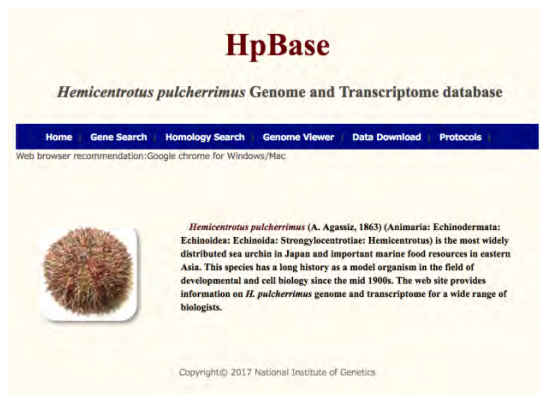
発生生物学分野では、棘皮動物であるウニ胚をモデルとして、体軸形成と神経形成の分子メカニズムの解明、および神経の機能解析を目的として研究を進めている。本年度はモデル動物であるバフンウニのゲノム解読を行った。

### 【トピックス】

#### 1) バフンウニのゲノム解読およびゲノムデータベース HpBase の構築

バフンウニは北海道南端より南の地域の海岸線でよく見られるウニの一種であり、地域によっては貴重な漁獲対象物となっている。また、その採集のしやすさ、卵や精子といった配偶子取得の容易さから、発生生物学、細胞生物学等の優れた研究材料としてだけでなく、動物の発生を学ぶ教育現場においても、我が国では長い間利用されてきた。本研究では、バフンウニのゲノム配列を解読し、研究・教育の過程で利用できるデータベース「HpBase」(<http://cell-innovation.nig.ac.jp/Hpul/>)を作成し、公開した。

HpBase のトップページ



## 研究成果

### 原著論文

1. Kinjo S, Kiyomoto M, Yamamoto T, Ikeo K, **\*Yaguchi S.**  
HpBase: A genome database of a sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*.  
*Development Growth & Differentiation* 60, 174-182 (2018)
2. Mizuno K, Shiba K, Yaguchi J, Shibata D, **Yaguchi S**, Pruliere G, Chenevert J, Inaba K.  
Calaxin establishes basal body orientation and coordinates movement of monocilia in sea urchin embryos.  
*Scientific Reports* 7, 10751 (2017)

### 学会発表

1. The developmental process and the function of digestive tract in sea urchin larvae.  
88<sup>th</sup> Annual meeting of the Zoological Society of Japan, Toyama, Japan.
2. ハリサンショウウニのモデル生物化に向けて—体軸形成因子の発現パターン解析—  
88<sup>th</sup> Annual meeting of the Zoological Society of Japan, Toyama, Japan.
3. Development of serotonergic neurons in sea urchin embryos.  
50<sup>th</sup> Annual Meeting-Japanese Society of Developmental Biologists, Funabori, Japan.
4. Troponin system in the sea urchin embryos.  
*Developmental Biology of the Sea Urchin XXIV*, Woods Hole, USA.

Department of Marine Molecular Biology, Developmental Biology group

Shunsuke Yaguchi, Associate Professor

Our group focuses on understanding the axis specification and the development of nervous system in sea urchin embryos/larvae.

**【Topics】**

In this year, we read the draft genome of a sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*, and made a database HpBase (<http://cell-innovation.nig.ac.jp/Hpul/>).

This database includes “Gene Search”, “Homology Search”, “Genome Viewer”, “Data Download”, and “Protocols”. Transcriptome data is also available in Gene Search and Homology Search. Protocols will be updated with accumulation of posts from sea urchin scientists.



中野 裕昭 准教授



### 【研究概要】

系統進化学分野では、後生動物の起源、進化、多様性をテーマに、あまり研究が進んでいない海産無脊椎動物の研究を行なっている。本年度は、日本で採取された珍渦虫の新種の記載、および日本の平板動物ハプロタイプの多様性と分布に関する報告を行った。

### 【トピックス】

#### 1) 日本近海で採取された新種の珍渦虫

珍渦虫は、脳や肛門等を欠いた非常に単純な体制の海産動物である。現生の左右相称動物でもっとも初期に分岐した動物群の一員という説が認められており、後生動物や左右相称動物の起源や進化を探る上で重要であると考えられている。しかし、珍渦虫は採取が困難であるため、あまり研究が進んでいない。

本研究では、日本近海で珍渦虫を採取し、それらの個体が新種であることを明らかにした。また、これまで珍渦虫から報告されていない新しい器官、前端孔を発見した。今後この種の研究を進めることで、後生動物の起源や進化を探る上で重要な知見が得られることが期待される。

(国立遺伝学研究所、沖縄科学技術大学院大学、北海道大学、東京大学との共同研究)



図1. 日本近海で採取された新種の珍渦虫  
*Xenoturbella japonica*

#### 2) 日本の平板動物ハプロタイプの多様性と分布に関する研究

平板動物は神経も筋肉も持たない、現生でもっとも単純な体制を持つ自由生活性の後生動物である。その形態があまりにも単純なため、平板動物内の分類学的研究は進んでいない。現在は、少なくとも19のハプロタイプと呼ばれるグループに分けられることがわかっている。

本研究では、平板動物採取の新技术、アルコール法を開発し、日本各地で平板動物のハプロタイプを調査した。その結果、これまで日本から未報告だった5ハプロタイプを含め、全12箇所に計7ハプロタイプが生息していることが判明した。また、平板動物の分布には海流が影響している可能性が示唆された。



図2. 下田で採取された平板動物

## 研究成果

### 原著論文

1. Miyazawa H, **Nakano H.**  
Multiple surveys employing a new sample-processing protocol reveal the genetic diversity of placozoans in Japan.  
Ecology and Evolution 8, 2407-2417 (2018)
2. **Nakano H.**, Miyazawa H, Maeno A, Shiroishi T, Kakui K, Koyanagi R, Kanda M, Satoh N, Omori A, Kohtsuka H.  
A new species of *Xenoturbella* from the western Pacific Ocean and the evolution of *Xenoturbella*.  
BMC Evolutionary Biology 17, 245 (2017)  
2017年12月18日 プレスリリース  
「日本近海で初の珍渦虫の新種を発見—動物の起源や進化過程を探る糸口に一—」
3. Kakui K, Suzuki A, **Nakano H.**, Kohtsuka H.  
Habitat of a tanaidacean *Apseudes nipponicus* Shiino, 1937.  
Bull. Kitakyushu Mus. Nat. Hist. Hum. Hist. Ser. A 15, 1-3 (2017)

### 学会発表

1. Bam M, **Nakano H.**  
Lysozyme from Placozoa, an early diverging Metazoa, lyses both gram-positive and negative bacteria.  
The JSFS 85th Anniversary-Commemorative International Symposium、東京、2017年9月22日-24日
2. **中野裕昭**、宮澤秀幸、前野哲輝、城石俊彦、角井敬知、小柳亮、神田美幸、佐藤矩行、大森紹仁、幸塚久典  
日本での珍渦虫の発見  
日本動物学会第88回大会、富山、2017年9月21日-23日

3. 高谷謙介、**中野裕昭**、近藤真理子  
再生におけるマナマコ腸管の positional identity  
日本動物学会第88回大会、富山、2017年9月21日-23日

Hiroaki Nakano Associate Professor



### 【Research Summary】

We are performing research on less studied non-model animal groups, with the aim of gaining new insights on the origins and evolution of metazoans and bilaterians. This year, we described a new species of *Xenoturbella* from Japan and also reported the genetic diversity and distribution of placozoans in Japan.

### 【Topics】

1) New species of *Xenoturbella* from Japan. *Xenoturbella* is a marine worm with a very simple body plan, lacking brain and anus. It is a member of the Xenacoelomorpha, a clade now accepted as the earliest branching phylum within extant bilaterians. Therefore, *Xenoturbella* occupies an important phylogenetic position for the understanding of metazoan and bilaterian evolution. But due to difficulties in its collection, research on the animal is not active.

In 2017, we reported a new species of *Xenoturbella*, *X. japonica*, off the Japanese coast, and discovered a new organ, the frontal, previously not known from *Xenoturbella*.

We hope to gain new insights into bilaterian origins through further research on this species.

(In collaboration with NIG, OIST, Hokkaido University, and University of Tokyo).



Figure 1. *Xenoturbella japonica*, collected off Japan.

### 2) Genetic diversity and distribution of placozoan in Japan

Placozoans, lacking neurons and muscles, are the simplest extant free-living animals. Due to their simple morphology, classification within the phylum is still unresolved. 19 groups, called haplotypes, are known to be present within the phylum, but whether they are different species remain unknown.

We invented a new method, alcohol method, for placozoan collection, and surveyed the placozoan population around Japan. We found that at least 7 haplotypes inhabit 12 locations, with 5 haplotypes being first reported from Japan.



Figure 2. Placozoa sp., collected at Shimoda.

## Publications

1. Miyazawa H, **Nakano H**.  
Multiple surveys employing a new sample-processing protocol reveal the genetic diversity of placozoans in Japan.  
Ecology and Evolution 8, 2407-2417 (2018)
2. **Nakano H**, Miyazawa H, Maeno A, Shiroishi T, Kakui K, Koyanagi R, Kanda M, Satoh N, Omori A, Kohtsuka H.  
A new species of *Xenoturbella* from the western Pacific Ocean and the evolution of *Xenoturbella*.  
BMC Evolutionary Biology 17, 245 (2017)
3. Kakui K, Suzuki A, **Nakano H**, Kohtsuka H.  
Habitat of a tanaidacean *Apseudes nipponicus* Shiino, 1937.  
Bull. Kitakyushu Mus. Nat. Hist. Hum. Hist., Ser. A 15, 1-3 (2017)

## Presentation

1. Bam M, **Nakano H**.  
Lysozyme from Placozoa, an early diverging Metazoa, lyses both gram-positive and negative bacteria.  
The JSFS 85th Anniversary-Commemorative International Symposium, Tokyo, September 22-24, 2017.
2. **Nakano H**, Miyazawa H, Maeno A, Shiroishi T, Kakui K, Koyanagi R, Kanda M, Satoh N, Omori A, Kohtsuka H.  
Discovery of *Xenoturbella* in Japan.  
The 88th Annual Meeting of the Zoological Society of Japan. Toyama, Japan. (invited) September 21-23, 2017.
3. Takatani K, **Nakano H**, Kondo M.  
Positional identity of the regenerating gut in the sea cucumber *Apostichopus japonicus*.  
The 88th Annual Meeting of the Zoological Society of Japan. Toyama, Japan. September 21-23, 2017.

和田 茂樹 助教



【研究概要】

物質循環学分野では、海水中の生物と環境の関連を基にして、海の生態系の仕組みや人と海の関わりについて研究を進めている。本年度は、下田市の海洋生態系と人のかかわりとして、釣りというレクリエーションを題材とした環境経済学的解析と、海水中のバクテリアを起源とする有機物の動態について解明を行った。

【トピックス】

1) 下田市における釣り人の行動把握と経済価値の評価

海洋生態系を人が利用する一つの形態は、レクリエーションの場としての機能である。下田市は都市圏からのアクセスも良く、釣り場としても有名であり、海洋生態系に依存するレクリエーション産業の一つとして釣りが位置づけられる。

主に海岸沿いに釣り人は分布するが、広域の海岸を短時間で見て回ることは難しい。そこで、下田湾の遊覧船にカメラを設置しビデオ撮影を行うことで、短時間で一度に湾内の海岸線の釣り人の動態を把握することとした。

カメラの解像度および設置方法を工夫して、遊覧船からの釣り人の撮影・同定に成功した。さらに夏季繁忙期において連続的な動画撮影を実施した。さらに、釣り人へのインタビューを基にして、釣具や消耗品、トラベルコスト法による移動費算出を行った。その結果、釣りによる下田市への経済効果は1億9千万円に相当することが

見積もられた。(筑波大学、武正憲助教との共同研究)

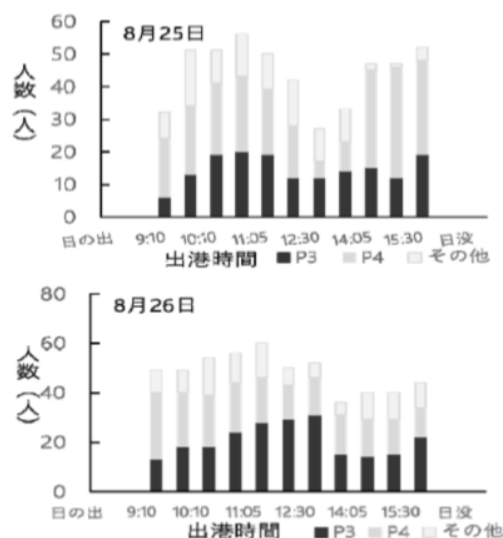


図1. 時間別の釣り人数の推移

例として、8月25日、26日のデータを示す。縦軸は下田湾の釣り人数。横軸は各時間を示す。

2) 海水中のバクテリア起源溶存態有機物の動態

海水中の溶存態有機物の中でも、数千年無機化されずに蓄積している難分解性溶存態有機物 (R-DOM: Refractory DOM)は、大気中のCO<sub>2</sub>の隔離先として注目されている。海水中のバクテリアは、有機物の分解者であると同時に、有機物を変性させて腐植物質様のR-DOMを作り出すことも知られている。

そこで本研究では、バクテリア由来の有機物に対して、DOMの分解にかかわる2つの主要因(生物分解と光分解)を検証した。その結果、バクテリア由来の腐植様物質の蛍光強度は、光に対して著しく減退したが、有機炭素濃度で評価すると影響は軽微なものであった。これは、光が腐植物質の変性を引き起こし、蛍光強度を低下させたことを示しているが、その変性効果は有機物を無機化させるにまでは至らないことを示している。(筑波大学、濱健夫教授との共同研究)

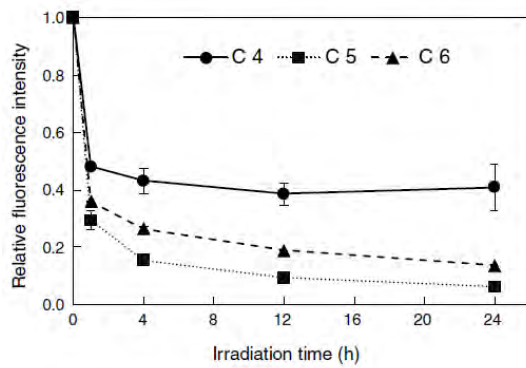


図 2. 光照射下における腐植様物質のピーク強度の時間変化。  
縦軸は相対ピーク強度、横軸は照射時間を示す。

#### 原著論文

1. 武正憲、坂入愛、和田茂樹

下田湾観光遊覧船からの動画記録をもとにした釣り人の行動把握と経済価値評価  
環境情報科学学術論文集 31、167-170 (2017)

2. Arai K, Wada S, Shimotori K, Omori Y, Hama T.

Production and bio-, photo-degradation of fluorescent dissolved organic matter derived from bacteria.

Journal of Oceanography 74, 39-52 (2018)



堀江 健生 助教



【研究概要】

神経生理学分野では、原始的な脊索動物であるホヤをモデルとして、ニューロンの発生とその生理機能を解明することを目指して研究を進めている。本年度は、ホヤ幼生に存在する4つの感覚ニューロンの細胞系譜と分化機構に関する研究を行った。とくに、尾部に存在する Bipolar tail neurons (BTNs)の分化機構に関しては、様々な動物との比較解析を行った。

【トピックス】

1) ホヤ幼生に存在する感覚ニューロンの分化機構に関する研究

ホヤには神経板の境界領域から生じる4種類の感覚ニューロンが存在し、前方から、PSC (palp sensory cell), aATEN (anterior apical trunk epidermal neuron), pATEN (posterior apical trunk epidermal neuron), BTN (bipolar tail neuron) と名づけられている。このうち、PSCおよびaATENは頭部プラコードの原始的な性質をもつことが報告されている。とくに、aATENは鼻プラコードに由来する細胞にみられるような化学受容性の細胞としての性質と、下垂体プラコードに由来する細胞にみられるような性腺刺激ホルモン放出ホルモンを放出する神経内分泌性の細胞としての性質の両方を備えることが報告されている。最も後方に位置するBTNは神経堤細胞に由来する後根神経節と性質が似ていることが報告されており、神経堤細胞との相似性が指摘されている。

DiIを用いた細胞系譜の追跡、およびレポー

ター遺伝子の発現を詳細に観察することにより、神経板の境界領域から生じるそれぞれの感覚ニューロンの細胞系譜を明らかにした。(米国プリンストン大学との共同研究)。

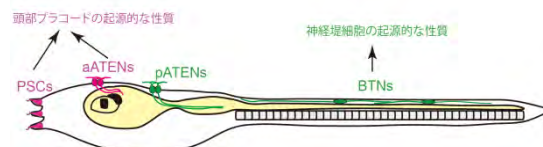


図1. ホヤ幼生の感覚ニューロン。ホヤ幼生には神経板に由来する4種類の感覚ニューロンが存在する。

2) Bipolar tail Neurons (BTNs)の分化機構

脊椎動物の神経板境界領域の特異化や形成に重要な役割をする *Msx/Vab-15* 遺伝子の発現領域とその機能について解析を行った。その結果、*Msx/Vab-15* 遺伝子はBTNsが分化する領域で発現すること、*Msx/Vab-15* 遺伝子の機能を阻害するとBTNの分化が阻害されることが明らかとなった。また、*Msx/Vab-15* 遺伝子の発現領域やその機能を、線虫、ショウジョウバエ、アフリカツメガエルを用いて解析を行ったところ、全ての動物において、*Msx/Vab-15* 遺伝子が感覚神経細胞の分化に必要な不可欠であることが明らかとなった。以上の結果から、線虫から脊椎動物までの左右相称動物において、*Msx/Vab-15* という共通の遺伝子が感覚神経細胞の分化に使われていることを明らかにした。(中国清華大学、米国プリンストン大学との共同研究)

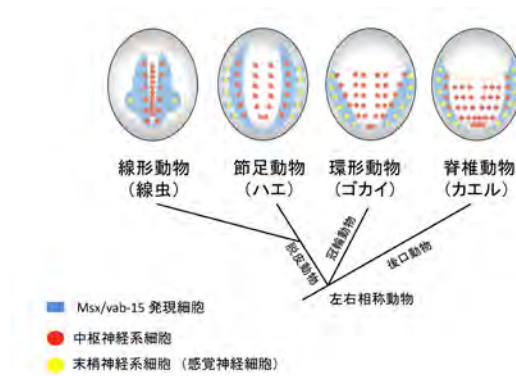


図2. *Msx/Vab-15* 遺伝子が発現する細胞と中枢神経系の細胞と感覚神経細胞の分布。*Msx/Vab-*

15遺伝子は左右相称動物全般において、末梢神経系由来の感覚神経細胞で発現している。

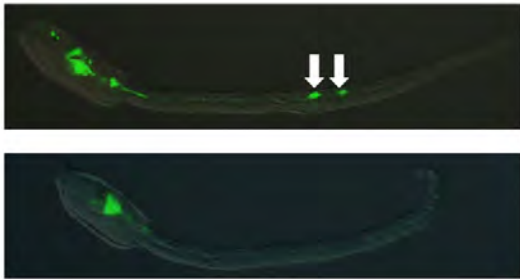


図3. *Msx/Vab-15* 遺伝子の機能を阻害したホヤ。上の写真は野生型、下の写真は *Msx/Vab-15* 遺伝子の機能を阻害したホヤ。神経細胞を緑色の蛍光で光らせている。白色の矢印は側方の神経板境界領域から分化する感覚神経細胞を示している。*Msx/Vab-15* 遺伝子の機能を阻害すると感覚神経細胞が完全に失われてしまう。

## 研究成果

### 原著論文

1. Li Y\*, Zhao D\*, **Horie T\***, Chen G\*, Bao H, Chen S, Liu W, Horie R, Liang T, Dong B, Feng Q, Tao Q, Liu X. \*Equal contribution.

Conserved gene regulatory module specifies lateral neural borders across bilaterians.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114, E6352-E6360 (2017)

2017年7月19日 プレスリリース

「線虫から脊椎動物まで保存されている発生メカニズム～進化的に広く保存された感覚神経細胞が作られる仕組みの解明」

### 学会発表

1. **Horie T**, Horie R Levine M. Neural crest and cranial placodes share a common evolutionary origin. 9th International Tunicate Meeting, New York, USA, July 17-21. 2017.



Takeo Horie, Assistant Professor

In the neurophysiology group, we are conducting the research to elucidate the development and function of individual neurons with the primitive chordate ascidian as a model system. In this year, we studied the cell lineage and differentiation mechanisms of four sensory neurons present in the ascidian larva. In particular, we studied the differentiation mechanisms of Bipolar tail neurons (BTNs) present in the tail region.

**【Topics】**

- 1) The differentiation mechanisms of sensory neurons in ascidian larvae.

Ascidians have 4 sensory neurons derived from the lateral plate ectoderm: palp sensory cells, PSCs (Palp Sensory Cells), aATEN (Anterior Apical Trunk Epidermal Nurons), pATENs (Posterior Trunk Epidermal Nurons) and BTNs (Bipolar Tail Nueonrs). The PSCs and aATENs were previously shown to possess properties of placode-derived sensory neurons. The aATENs were previously shown to possess dual properties of placode derived chemosensory neurons (olfactory neurons) and GnRH expressing neuro- secretory neurons derived from pituitary placode. The BTNs and pATENs are thought to share properties with neural crest-derived dorsal root ganglia.

We use a combination of lineage tracing with fluorescent dye, DiI and reporter gene expression, we elucidated the detailed lineage of individual sensory neurons derived from lateral ectoderm in the ascidian, *Ciona intestinalis*. (Collaboration with Princeton University in UAS).

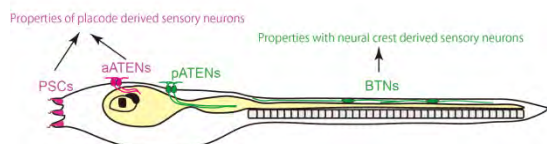


Figure1. Sensory neurons in ascidian larva

Ascidians larvae have 4 sensory neurons derived from the lateral plate ectoderm

- 2) The differentiations mechanisms of sensory neurons

The transcription factor *Mab/Vab-15* is essential for specification of lateral plate ectoderm in vertebrates. We analyzed the *Msx/Vab-15* expression and function in ascidians. *Max/Vab-15* is expressed in the BTNs progenitor cells. *Max/Vab-15* knock down larvae showed completely loss of BTNs. We also analyzed *Max/Vab-15* function in *C. elegans*, *Drosophila* and *Xenopus*. *Max/Vab-15* is expressed in mechano sensory neurons and essential for differentiation of mechano sensory neurons in all animals. These results suggested that *Msx/Vab15* is essential for differentiation of sensory neurons across bilaterians..

(Collaboration with Tsinghua University in China and Princeton University in UAS)

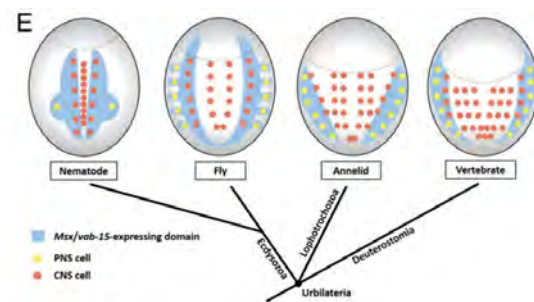


Figure2. Expression of *Msx/Vab-15* in the bilaterians. *Msx/Vab-15* is expressed sensory neurons in bilaterians.

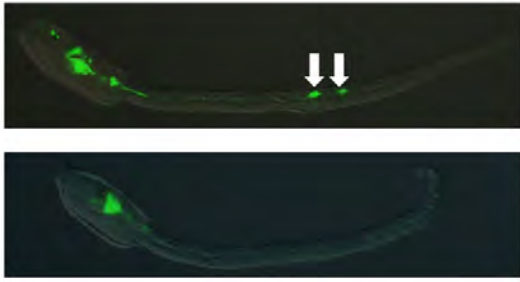


Figure3. Msxb/Vab-15 knock down larvae showed loss of BTNs. Upper panels: wild type larva. Lower panel: Msx/Vab-15 knock down larva. BTNs were labeled by the GFP reporter gene expression. White arrows indicate BTNs. Msx/Vab-15 knock down larva lost differentiation of BTNs.

#### Publications

1. Li Y\*, Zhao D\*, **Horie T**\*, Chen G\*, Bao H, Chen S, Liu W, Horie R, Liang T, Dong B, Feng Q, Tao Q, Liu X. \*Equal contribution.  
Conserved gene regulatory module specifies lateral neural borders across bilaterians.  
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114, E6352-E6360 (2017)

#### Presentation

1. **Horie T**, Horie R, Levine M.  
Neural crest and cranial placodes share a common evolutionary origin.  
9th International Tunicate Meeting, New York, USA, July 17-21. 2017.

今 孝悦 助教



### 【研究概要】

多様性生態学分野では、沿岸域の様々な生息場を対象に、生物群集が形成・維持される機構の解明を目指して研究を進めている。本年度は、岩礁潮間帯の維持機構に関する基礎的研究に加え、海洋酸性化が裸鰓類の行動様式に及ぼす影響評価を行った。

### 【トピックス】

#### 1) 岩礁潮間帯の生物群集の維持に関わる固着性二枚貝の役割

固着性二枚貝の有する複雑な貝殻構造は、他の生物の重要な生息場となる。これらの貝殻構造は二枚貝が死亡した後も残存するため、生息場提供の機能も死後に維持される可能性があるが、そうした検証例は僅かである。そこで、固着性生物、それらの死後の殻、および生物が固着していない岩盤表面を対象に、そこに棲み込む種を記録した。その結果、死亡したケガキ貝殻に棲み込む種数・個体数が最も多いことが判明し、さらに、棲み込んでいた種に対するケガキ貝殻の被食防止効果を実験的に検討したところ、生存ケガキや岩盤に比べて、死後のケガキ貝殻によって減じられる被食率が有意に高いことが明らかになった。従って、ケガキ等の固着性二枚貝は、死後の貝殻構造が高い被食防止効果を持つことで、岩礁潮間帯生物の棲み込みを促進することが示唆された。

#### 2) 海洋酸性化がオカダウミウシの行動様式に及ぼす影響

海洋酸性化は、石灰化生物の貝殻や骨格の形成を阻害するだけでなく、生物体内の生理的機構を攪乱し、餌料探索や捕食者回避といった行動様式も改変することが示唆されている。腹足綱に属する多くの種は炭酸カルシウムの貝殻を持つ典型的な石灰化生物であり、これまで酸性化による貝殻形成阻害の知見が豊富に蓄積されてきた。一方で、行動様式への潜在的な影響評価は極めて乏しい。オカダウミウシは炭酸カルシウムの貝殻を持たない腹足綱の一種であり、石灰化阻害を除いた腹足綱への行動改変の試験が可能である。そこで本研究では本種を対象に、酸性化海水が餌料探索行動および捕食者回避行動を阻害するの否か検証したところ、酸性化海水はいずれの行動も阻害することが判明した。従って、海洋酸性化は腹足綱の石灰化阻害だけでなく、行動様式も改変することが示唆された。

### 研究成果

#### 原著論文

1. 山川宇宙、今井亮介、今孝悦、津田吉晃  
茨城県利根川で記録された国内外来魚ドンコ *Odontobutis obscura*.  
茨城生物 38、2-5 (2018)
2. Tomatsuri M, Kon K.  
Effects of dead oyster shells as a habitat for the benthic faunal community along rocky shore regions.  
*Hydrobiologia* 790, 225-232 (2017)

#### 学会発表

1. 今孝悦、佐々木悠子  
海洋酸性化が裸鰓類の行動様式に及ぼす影響  
平成 30 年度日本水産学会春季大会、東京、2018 年 3 月 26 日-30 日
2. 戸祭森彦、今孝悦

窮すれば長ず：巻貝を介したホンヤドカリ  
に対する海洋酸性化の間接効果  
第 65 回日本生態学会大会、北海道、2018  
年 3 月 14 日-18 日

3. Tomatsuri M, **Kon K.**  
The long-term effects of ocean acidification on  
the prey searching behavior of muricid  
gastropod *Reishia clavigera*.  
The 3rd Asian Marine Biology Symposium,  
Kumamoto, November 3-5, 2017.
4. Tomatsuri M, **Kon K.**  
The effect of ocean acidification on the prey  
searching behavior of the carnivorous  
gastropod.  
Tsukuba Global Science Week 2017, Tsukuba,  
September 25-27, 2017.
5. 山川宇宙、加納光樹、**今孝悦**  
神奈川県相模川水系のカワアナゴ *Eleotris*  
*oxycephala* に対する下水処理水の影響  
第 50 回日本魚類学会年会、北海道、2017  
年 9 月 15 日-18 日
6. 戸祭森彦、**今孝悦**  
肉食性巻貝の餌探索行動に対する海洋酸性  
化の影響  
2017 年日本プランクトン学会・ベントス  
学会合同大会、滋賀、2017 年 9 月 3 日-5  
日
7. Tomatsuri M, **Kon K.**  
The effect of ocean acidification on the prey  
searching behavior of the carnivorous  
gastropod.  
International Workshop Assessing the Effects of  
Ocean Acidification on East Asian Ecosystems,  
Shizuoka, July 25-26 2017.

Koetsu Kon, Assistant Professor

**【Research Summary】**

Our group is trying to elucidate community organization mechanisms in various coastal habitats, including rocky shores, sandy beaches, mud flats, salt marshes, and mangrove forests. This academic year, we assessed the role of sessile bivalves in rocky shore communities and the impacts of ocean acidification on the behavioral ecology of gastropods.

**【Topics】**

- 1) Role of sessile bivalves in community structuring in intertidal rocky shores.

The present study aimed to clarify the habitat function of empty shells from dead oysters *Saccostrea kegaki* for the benthic faunal community of an intertidal rocky shore. We evaluated whether macroinvertebrates used the shells as a habitat. Results demonstrated that limpets (the dominant macroinvertebrates at the study site) did so more frequently than they inhabited live oysters, other sessile organisms, or rock surfaces. The dead oyster shells successfully functioned as a refuge from predation and as a nursery for limpets, because of their structural complexity (the presence of a depression on the inner side of the shell). Therefore, our study demonstrates the importance of dead *S. kegaki*, a shell-forming foundation species, and illustrates that the structural complexity of such species might result in habitat functions upon their death.

- 2) Impact of ocean acidification on feeding/refuge behaviors of *Vayssierea felis*.

This study aimed to examine the impacts of ocean acidification on feeding/refuge behaviors of *Vayssierea felis*. We compared the effects of

acidified and controlled seawater conditions on their accessibility to food and the escape rate from predators. Results revealed that both behaviors declined significantly under the acidified seawater condition. Accordingly, our findings demonstrated that ocean acidification could disrupt not only shell calcification but also sensory and behavioral responses of gastropod species.

シルバン アゴスティーニ助教



### 【研究概要】

Our laboratory studies the eco-physiology of marine organisms, especially under present and future conditions. Special attention is ported to warm temperate coral communities as these are rapidly changing under climate change and ocean acidification. We use a combination of field studies including long term monitoring, natural analogues and field experiments and laboratory experiments.

### 【トピックス】

#### 1) Monitoring of Warm Temperate Coral Communities in Izu and around.

Since 2013, we have been monitoring several warm temperate coral communities in Izu and elsewhere. These communities may represent a future thermal refuge for scleractinian corals that are under increasing threats in the low tropical and subtropical latitudes where recurrent high temperature has been causing massive bleaching events and mass mortality of corals. But our knowledge of the eco-physiology of already established communities in higher latitudes is still poor. By monitoring established communities, we identified physiological processes such as cold stress induced bleaching, ecological drivers such as competition with algae and other yet undescribed drivers such as recurrent disease outbreak, that will certainly play an important role in determining the future evolution of these communities in a high CO<sub>2</sub> world. Monitoring is being done in collaboration with the local

communities to increase the awareness on the importance of warm temperate coral communities and to develop effective conservation strategies.



図 1. Warm temperate coral community in Katsuyama, Chiba, Japan where corals and kelp cohabit. Photo by Nicolas Floc'h, artist aboard Tara during the Japan Leg.

2) Tara Pacific Expedition and the Japan Leg. The Tara Ocean Fondation (formerly Tara Expedition Fondation) is a French NPO dedicated to the study and conservation of marine ecosystems. After conducting several successful project in the Arctic (Tara Arctic Expedition), on plankton (Tara Oceans Expedition), and on marine microplastics (Tara Mediterranee), the foundation organized the Tara Pacific Expeditions in partnership with the French CNRS, CEA and many others international institute including the University of Tsukuba. This expedition is dedicated to the study of coral and coral reefs under increasing pressure from climate change and increasing human population. The Pacific expeditions includes sampling of coral, plankton and seawater along two transects crossing the Pacific Ocean. In Japan, the sampling was performed in Ogasawara and Sesoko Isld (Okinawa).



図 2. Japanese sites visited by Tara in 2017 for educational events and scientific studies.

In addition, topical studies were organized including in Japan where in collaboration with Kochi University, Miyazaki University, the University of Tokyo and the CRIOBE, France, we studied the evolution of coral, algal and fish communities along a latitudinal temperature gradient and a CO<sub>2</sub> gradient by making use of the CO<sub>2</sub> seep of Shikine Island and Iwotori Island, to gain insight on the extent to which warm temperate ecosystems may be tropicalized. The visit of Tara in Japan was also the occasion for various events across Japan including scientific symposia and outreach events towards children and adults. Tara projects also includes an artistic component and one Japanese artist, Maki Ohkojima was on board of Tara from Guam to Kobe and Nicolas Floc'h, French artist and underwater photographs joined the scientific team on board of Tara during the Japan Leg.

### 3) Response of coral communities to ocean acidification.

The increase in atmospheric CO<sub>2</sub> is leading to an increase in temperature but also a reduction in seawater pH and a shift in the ocean carbonate equilibrium towards conditions unfavourable for coral growth. This phenomenon is referred to as ocean acidification. The study of the physiological response of corals to ocean acidification on a short time scale is possible in the laboratory but the study

of their chronic responses and indirect effects on their growth and recruitment is not possible. The discovery of a CO<sub>2</sub> seep in Shikine Isld, a natural analogue for ocean acidification allowed us to study the chronic and indirect effects of ocean acidification on corals.

During 2017, we identified physiological characteristics of coral species resilient to ocean acidification. We showed that resilient species had higher mitochondrial activities per biomass suggesting that these species are able to allocate more energy towards skeletal growth than less tolerant species. This result was confirmed for tropical coral species at a CO<sub>2</sub> seep in Papua New Guinea in collaboration with a team from the IRD New Caledonia.

## 研究成果

### 原著論文

1. 和田茂樹、シルバンアゴスティニ  
沿岸の一次生産者に対する海洋酸性化の影響  
CO<sub>2</sub> シープにおける生態系の変化  
地球化学 Chikyukagaku 51、195-205 (2017)

### 学会発表

1. Agostini S.  
'Tara Pacific - Japan Leg: Insights on the Tropicalization Mechanisms of Marine Ecosystems'.  
Oral presented at the Japanese Coral Reef Symposium 20th meeting, Tokyo, November 24. 2017.
2. Agostini S.  
'Tara Pacific Japan Leg'.  
Panel Discussion presented at the Mainstreaming Biodiversity Towards Achieving Aichi Biodiversity Targets and SDGs, Tokyo, June 21. 2017.



3. **Agostini S.**  
‘Tropicalization of Coastal Marine  
Ecosystems: From Macroalgae to Corals?’  
33rd International Biology Prize, Tsukuba,  
December 5-6 2017.
4. **Agostini S.**, Nakamura Y, Nugues M, Roux N,  
Fukami H, Kitano Y, Yamamoto S, Lecchini D.  
‘Tara Pacific Japan Leg: Tropicalization of  
Marine Ecosystems under Climate Change and  
Ocean Acidification’.  
COAST Bordeaux 2017, Bordeaux, France,  
October 10. 2017.
5. Yamazaki W.  
‘Thermal Limits of the High Latitude Coral  
Porites Heronensis’.  
Oral presented at the Japanese Coral Reef  
Symposium 20th meeting, Tokyo, November  
24. 2017.
6. 樋口富彦  
伊豆下田における造礁サンゴ軟体部の安定  
同位体比変動  
Poster presented at the Japanese Coral Reef  
Symposium 20th meeting, Tokyo, November  
24. 2017.



ホールスペンサー ジェイソン 教授  
ハーベイ ベン 助教



### 【研究概要】

Our investigations aim to elucidate the mechanisms that underpin the effects of living in a ‘high CO<sub>2</sub> world’. Our laboratory is using a combination of field surveys and *in situ* experiments at CO<sub>2</sub> seeps in Japan and Europe to investigate the effects on marine organisms and their habitats. In this year, we focused on the effects of ocean acidification on calcification mechanisms and community succession.

### 【トピックス】

- 1) 酸性化が引き起こす殻の溶解は巻貝の生存にとって脅威となる

Biom mineralisation is the process by which calcifying marine invertebrates construct calcium carbonate shells and skeletons. Now while this process is biologically controlled, environmental factors such as pH can potentially affect it as well. The impact of ocean acidification on the ability of individual species to calcify has remained elusive, partially because previous studies have only reported net calcification. Consequently, this often makes it unclear whether reduced levels of calcification are being driven biologically (e.g. reducing calcification) or by the physical environment (e.g. aragonite undersaturated waters causing passive dissolution).

In this research we investigated the large predatory ‘Triton shell’ gastropod *Charonia lampas* in acidified conditions near CO<sub>2</sub> seeps off Shikine Island (Japan) and compared them with individuals

from an adjacent bay with seawater pH at present-day levels (outside the influence of the CO<sub>2</sub> seep).

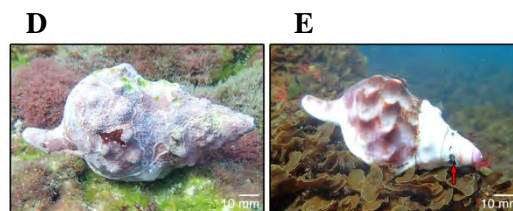


図 1. Representative *Charonia lampas* at the reference site, pH<sub>T</sub> 8.14 (D), and at the elevated pCO<sub>2</sub> site, pH<sub>T</sub> 7.81 (E). Note extensive coverage of encrusting organisms and intact apex region. At the elevated pCO<sub>2</sub> site shells had a smooth bare shell surface and severely eroded apex regions (arrow).

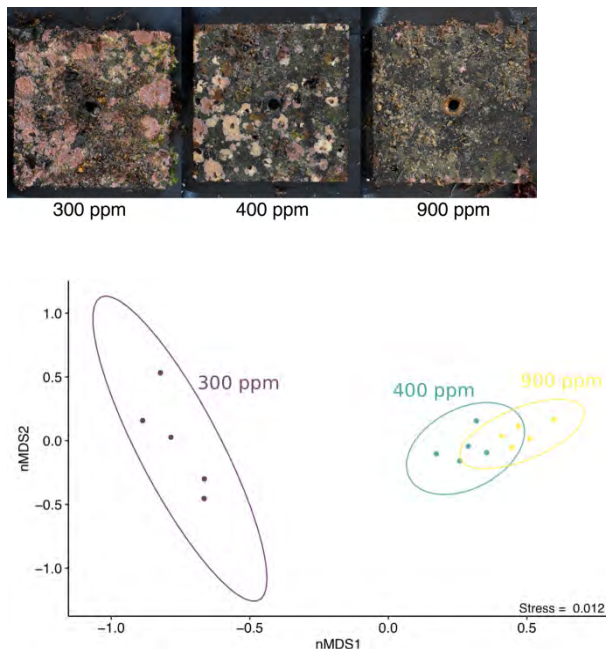
By using computed tomography, we show that acidification negatively impacts their thickness, density and shell structure, causing visible deterioration to the shell surface. Periods of aragonite undersaturation caused the loss of the apex region, exposing body issues. While gross calcification rates were likely reduced near CO<sub>2</sub> seeps, the corrosive effects of acidification were far more pronounced around the oldest parts of the shell. As a result, the capacity of *C. lampas* to maintain their shells under ocean acidification may be strongly driven by abiotic dissolution and erosion, and not under biological control of the calcification process.

- 2) A study into the role of community succession in determining community-level responses to ocean acidification

Anthropogenic global change has given rise to a wide variety of processes that can bring about dramatic, abrupt changes in the structure and function of ecological communities (termed regime shifts). These shifts result in habitats that typically possess less ecological, functional and human value compared to the pre-existing habitat.

We had previously assessed the responses of coral and algal habitats along a gradient of CO<sub>2</sub> using

natural CO<sub>2</sub> seeps at Shikine Island, Japan. We had found that the study area is comprised of rocky reef habitat with the reference pCO<sub>2</sub> area being characterised by a mixture of both canopy-forming fleshy macroalgae and zooxanthellate scleractinian corals, whereas the elevated pCO<sub>2</sub> area (that is under the influence of the CO<sub>2</sub> seep) was characterised by a mat of turf algae. In order to understand the mechanisms driving these ecological community shifts, this year we used settlement plates to investigate the role of early-stage community succession in determining climax communities found under high-CO<sub>2</sub> conditions.



☒ 2. (Top) Example settlement plate from reference (300 ppm), mid-CO<sub>2</sub> (400 ppm) and high-CO<sub>2</sub> (900 ppm) site, showing the changes in alternative trajectory for species under ocean acidification. This shows a loss of calcified algae, and an increase in microalgae under increasing CO<sub>2</sub>. (Below) The change in communities as illustrated by an nMDS plot based on Bray-Curtis distance.

Our research suggests a profound shift away from important calcareous species, towards more simplistic ecosystems dominated by microalgae and turf algae. This suggested that the trajectory of

communities during succession will differ when under present-day conditions and future predicted conditions of pCO<sub>2</sub>. Such changes will have important implications for ecosystem functioning, as well as the goods and services that we derive from our oceans.

## 研究成果

### 原著論文

1. Brown NE, Milazzo M, Rastrick SP, **Hall-Spencer JM**, Therriault TW, Harley CD. Natural acidification changes the timing and rate of succession, alters community structure, and increases homogeneity in marine biofouling communities. *Global Change Biology* 24, 112-127 (2018)
2. Castro MCT, **Hall-Spencer JM**, Poggiani CF, Fileman TW. Ten years of Brazilian ballast water management. *Journal of Sea Research* 133, 36-42 (2018)
3. Urbarova I, Patel H, Forêt S, Karlsen BO, Jørgensen TE, **Hall-Spencer JM**, Johansen SD. Elucidating the small regulatory RNA repertoire of the sea anemone *Anemonia viridis* based on whole genome and small RNA sequencing. *Genome Biology and Evolution* 10, 410-426 (2018)
4. Bray L, Kassis D, **Hall-Spencer JM**. Assessing larval connectivity for marine spatial planning in the Adriatic. *Marine Environmental Research* 125, 73-81 (2017)
5. Campbell BM, Beare DJ, Bennett EM, **Hall-Spencer JM**, Ingram JS, Jaramillo F, Shindell D. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society* 22, 8 (2017)

6. Celis-Plá PSM, Martínez B, Korbee N, **Hall-Spencer JM**, Figueroa FL.  
Ecophysiological responses to elevated CO<sub>2</sub> and temperature in *Cystoseira tamariscifolia* (Phaeophyceae).  
Climatic Change 142, 67-81 (2017)
7. Cornwall C, Revill A, **Hall-Spencer JM**, Milazzo M, Raven J, Hurd C.  
Inorganic carbon physiology underpins macroalgal responses to ocean acidification.  
Scientific. Reports 7, 46297 (2017)
8. Duquette A, McClintock JB, Amsler CD, Pérez-Huerta A, Milazzo M, **Hall-Spencer JM**.  
Effects of ocean acidification on the shells of four Mediterranean gastropod species near a CO<sub>2</sub> seep.  
Mar. Pollution Bulletin 124, 917-928 (2017)
9. **Harvey BP**, Moore PJ.  
Ocean warming and acidification prevents compensatory response in a predator to reduced prey quality.  
Marine Ecology Progress Series 563, 111-122 (2017)
10. Hernandez-Kantun JJ, **Hall-Spencer JM**, Grall J, Adey W, Rindi F, Maggs CA, Bárbara I, Peña V.  
North Atlantic rhodolith/maerl beds.  
In: *Rhodolith/maerl beds: A Global Perspective*. (eds. Riosmena-Rodriguez, R., Nelson W. and Aguirre J.)  
Springer, Coastal Research Library. (2017)
11. Lemasson AJ, Fletcher S, **Hall-Spencer JM**, Knights AM.  
Linking the biological impacts of ocean acidification on oysters to changes in ecosystem services: A review.  
Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 492, 49-62 (2017)
12. Lemasson AJ, Kuri V, **Hall-Spencer JM**, Fletcher S, Moate R, Knights AM.  
Sensory qualities of oysters unaltered by a short exposure to combined elevated pCO<sub>2</sub> and temperature.  
Frontiers in Marine Science 4, 352 (2017)
13. Martin S, **Hall-Spencer JM**.  
Effects of ocean warming and acidification on rhodolith/maerl beds.  
In: *Rhodolith/maerl beds: A Global Perspective* (eds. Riosmena-Rodriguez R, Nelson W. and Aguirre J.)  
Springer, Coastal Research Library. (2017)
14. Sheehan EV, Rees A, Bridger D, Williams T, **Hall-Spencer JM**.  
Strandings of NE Atlantic gorgonians.  
Biological Conservation, 209, 482-487 (2017)

#### 学会発表

1. **Harvey BP**, Agostini S, Wada S, Kon K, Inaba K, **Hall-Spencer JM**.  
The ecosystem effects of ocean acidification.  
JPGU-AGU Joint Meeting, Chiba, May 20-25. 2017.

## プレスリリースを行った研究

2017年5月1日 稲葉一男教授、柴小菊助教

「動物と植物の分かれ道-カルシウム依存的な鞭毛反応にみられる逆関係」

2017年7月19日 堀江健生助教

「線虫から脊椎動物まで保存された発生メカニズム-進化的に広く保存された感覚神経細胞が作られる仕組みの解明」

2017年9月7日 稲葉一男教授、柴小菊助教

「繊毛が協調して波打つ仕組み-ウニ胚運動を司る因子の解明-

2017年12月19日 中野裕昭准教授

「日本近海で初の珍渦虫の新種を発見-動物の起源や進化過程を探る糸口に-

2018年3月13日 谷口俊介准教授

「バフンウニのゲノムを解読-研究・教育推進のためのデータベースを公開」

## 外部資金獲得状況

### <科学研究費助成事業>

研究種目	代表/分担	氏名	期間
基盤研究 (S)	分担	和田 茂樹	2016 年度～2021 年度
基盤研究 (A)	代表	稲葉 一男	2017 年度～2020 年度
基盤研究 (B)	代表	笹倉 靖徳	2016 年度～2019 年度
基盤研究 (B)	分担	柴 小菊	2016 年度～2019 年度
基盤研究 (B)	分担	今 考悦	2017 年度～2020 年度
基盤研究 (C)	代表	柴 小菊	2016 年度～2018 年度
基盤研究 (C)	代表	堀江 健生	2016 年度～2018 年度
挑戦の萌芽研究	代表	笹倉 靖徳	2015 年度～2017 年度
挑戦の萌芽研究	代表	和田 茂樹	2017 年度～2019 年度
挑戦の萌芽研究	分担	今 考悦	2015 年度～2018 年度
新学術領域研究	分担	稲葉 一男	2016 年度～2021 年度
若手研究 (A)	代表	中野 裕昭	2014 年度～2018 年度
若手研究 (B)	代表	今 考悦	2016 年度～2017 年度
若手研究 (B)	代表	Agostini Sylvain	2017 年度～2019 年度
若手研究 (B)	代表	Benjamin Harvey	2017 年度～2019 年度
若手研究 (B)	代表	谷口 順子	2016 年度～2018 年度
特別研究員奨励費	代表	谷口 順子	2017 年度～2019 年度
特別研究員奨励費	代表	寺内 菜々	2017 年度～2019 年度
特別研究員奨励費	代表	戸祭 森彦	2016 年度～2018 年度

<その他の競争的資金>

研究種目	代表/分担	氏名	期間
医療研究開発推進事業費補助金(ナショナルバイオリソースプロジェクト)	代表	笹倉 靖徳	2017年度～2021年度
環境研究総合推進費	代表	和田 茂樹	2017年度～2019年度
財団法人日本科学協会/笹川研究助成	代表	Benjamin Harvey	2017年度

<受託研究>

研究種目	支出機関名	代表/分担	氏名	期間
共同研究	サントリー生命科学財団	代表	笹倉 靖徳	2017年度
日本学術振興会外国人研究者招へい事業	日本学術振興会	代表	稲葉 一男	2017年度
平成29年度国際生物学賞記念シンポジウム・講演会開催事業	日本学術振興会	代表	稲葉 一男	2017年度
日本学術振興会二国間交流事業(フランスとの共同研究)	日本学術振興会	代表	稲葉 一男	2017年度～2019年度

## 受賞など

受賞者	受賞名	授与団体
田島 由佳子	平成 29 年度生命環境科学研究科生物科学専攻長賞	筑波大学
山路 草太	平成 29 年度生命環境科学研究科生物科学専攻長賞	筑波大学

## 国際共同研究

研究者	研究内容	教員
カナダ・ビクトリア大学 Robert D. Burke 教授	「ウニ胚セロトニン神経形成に関する共同研究」	谷口俊介
アメリカ・コネチカット大学医学部 Stephen M. King 博士	「ホヤ鞭毛ダイニンのサブユニットに関する研究」	稲葉一男
チェコ共和国・サウスボヘミア大学 Otmar Linhart 博士	「チョウザメ精子のタンパク質の解析」	稲葉一男
韓国 NeoEnBiz Co. Jung-Suk Lee 博士	「CO <sub>2</sub> 増加にともなうウニの受精への影響」	稲葉一男 柴 小菊
フランスビレフランシュ臨海実験所 Tsuyoshi MOMOSE 博士 Evelyn HOULISTON 博士 Janet CHENEVERT 博士 Alex McDOUGALL 博士 Jenifer CROCE 博士 Hitoyoshi YASUO 博士 Richard COPLEY 博士 Clare HUDSON 博士	「海産無脊椎動物を用いた細胞骨格構造の機能進化学的研究」	稲葉一男 笹倉靖徳 谷口俊介 中野裕昭 柴小菊
ミシガン州立大学 Richard W. Hill 博士	「ヒメシャコガイの酸分泌機構の研究」	稲葉一男
メキシコ国立自治大学 (UNAM) 西垣卓也博士	「後生動物における精子鞭毛運動制御の共通性と多様性」	稲葉一男 柴小菊
ドイツ Max-Planck Institut fuer Molekulare Genetik Albert Poustka 博士 スペイン バルセロナ大学 Pedro Martinez 博士	「珍渦虫、無腸類のゲノムプロジェクト」	中野裕昭
スウェーデン Royal Swedish Academy of Sciences Michael Thorndyke 博士	「珍渦虫の発生学的研究」	中野裕昭
アメリカ プリンストン大学 Michael Levine 博士	「ゲノミクス技術を用いたホヤの進化発生生物学的研究」	堀江健生
中国 清華大学 Liu Xiao 博士	「左右相称動物間で保存された神経細胞の分化機構」	堀江健生

## 研究会の開催

日本動物学会第 88 回大会 においてシンポジウム「海産無脊椎動物-生命情報の宝の山 V-」 を企画（谷口、中野）

2017 年 9 月 21 日 富山県民会館

第 8 回繊毛研究会（稲葉、柴）

2017 年 10 月 26-27 日、下田臨海実験センター

第 33 回国際生物学賞記念シンポジウム（稲葉、Spencer、谷口、中野、柴、今、和田、Agostini、Harvey）

2017 年 12 月 5 日、6 日 つくば国際会議場

第 6 回生殖若手の会（柴）

2018 年 2 月 28 日-3 月 2 日、下田臨海実験センター



## 教育活動

### 授業・臨海実習

#### 臨海実習

	期 間	大 学 等 名	実 習 等 名
平成29年(2017年)			
1	6月25日～7月1日	筑波大学 生命環境科学研究科	サイエンスプレゼンテーション3名
2	6月25日～6月25日	筑波大学 自然保護寄附講座	自然保護セミナー 25名
3	7月3日～7月8日	筑波大学 生物学類	動物発生学臨海実習 29名
4	7月10日～7月15日	筑波大学 生物学類	動物分類学臨海実習 28名
5	7月23日～7月28日	筑波大学 体育センター	マリンスポーツ実習 28名
6	8月21日～8月26日	筑波大学 生物学類	水圏生態学臨海実習 27名
7	9月4日～9月8日	筑波大学 生物学類	生殖生物学臨海実習 21名
8	9月13日～9月15日	筑波大学 大学院共通	Marine Life and Environment 11名
9	9月13日～9月16日	筑波大学 自然保護寄附講座	海山連携実習 12名
10	9月19日～9月22日	山梨大学 生命環境学部	環境調査実習 28名
11	9月27日～9月27日	筑波大学 環境科学専攻	環境科学専攻SUSTEP伊豆巡検31名
12	11月13日～11月18日	筑波大学 下田臨海実験センター	大学院公開臨海実習 マリンポストゲノム解析実習 3名
13	11月28日～11月30日	筑波大学 生物学類	マリンバイオリソース演習 8名
平成30年(2018年)			
14	2月5日～2月10日	筑波大学 下田臨海実験センター	マリンバイオフィールド実習 12名
15	2月20日～2月23日	筑波大学 生命環境系	地質学野外実験I 10名
16	3月4日～3月12日	筑波大学 生物学類	植物分類学臨海実習 27名
17	3月12日～3月16日	筑波大学 生物学類	水圏生物学実習 31名

#### 実演と講習会

- 下田高校生物部プランクトン採集・観察（課外授業・実習）
- 浦和実業学園高等学校 22名 施設見学
- 下田市立稲生沢中学校 1名、下田市立稲梓中学校 1名、下田市立下田中学校 2名  
職場体験実習（実習）

## 学会活動、社会貢献

- UNESCO-IOC GOSR (Editorial member) (稲葉一男)
- 全国臨海臨湖実験所所長会議幹事 (稲葉一男)
- Zoological Science (Associate Editor) (稲葉一男)
- Zoological Letters (Associate Editor) (稲葉一男)
- Zygote (Editor-in-Chief、Asian) (稲葉一男)
- Invertebrate Reproduction and Development (Editorial Board) (稲葉一男)
- 日本動物学会男女共同参画委員 (柴小菊)
- 日本動物学会 ZDW(ZooDiversityWeb)委員 (柴小菊)
- 日本ゲノム編集学会 理事 (笹倉靖徳)
- Scientific Reports (Editorial Board) (谷口俊介)
- Scientific Reports (Editorial Board) (中野裕昭)
- 4月 科学技術週間 海産生物展示 (柴田大輔・高野治朗)
- 10月 第13回 JAMBIO 沿岸生物合同調査 in 下田
- 10月 第59次日本南極地域観測隊 夏隊(先遣隊)参加 (柴田大輔)
- 11月 国立大学法人技術職員研修会議 (佐藤壽彦・小高友実・高野治朗)

## 実験材料の提供

大竹 伸一 日本大学医学部一般教育系生物学分野  
ムラサキウニ 30 個体(自然科学実習)

## 技術職員による業績

First Detailed Record of Symbiosis Between a Sea Anemone and Homoscleromorph Sponge, With a Description of *Tempuractis rinkai* gen. et sp. nov. (Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria: Edwardsiidae)

Takato Izumi, Yuji Ise, Kensuke Yanagi, Daisuke Shibata, and Rei Ueshima  
ZOOLOGICAL SCIENCE 35: 188–198 (2018)

## 技術職員による発表

臨海・臨湖実験所センターにおける Facebook の運用について  
佐藤壽彦・柴田大輔・小高友実・高野治朗  
第 44 回国立大学法人技術職員研修会議(2017 年 11 月)

## 社会公開教育関係

### 公開講座

	期 間	主 催	実 習 等 名	
1	8月1日～8月4日	下田臨海実験センター	「海洋生物学入門」	高校生対象30名
2	12月9日	下田臨海実験センター	「一般公開」	近隣住民対象44名
3	2月23日	下田市教育委員会	「水産・海洋学講座」	下田市民対象計25名

### 避難訓練関係

避難訓練の為にセンター職員、学生で訓練を実施（2月26日）

# センター利用研究者

## センター利用者の主な研究課題

ABiS に関する共同研究の実験（テトラヒメナの野生型細胞とアクチン変異株の遊泳運動能力について解析）	筑波大学生命環境系
JSPS 外国人研究者招聘事業：海洋保全と政策における海洋生物学研究成果の活用	Plymouth Univeristy
アゴハゼの採集および解剖	筑波大学生命環境学群生物学類
ウニ精子鞭毛運動に対する紅茶高分子ポリフェノールの生理作用を調べる実験	筑波大学生命環境系
カタユウレイボヤとマボヤを用いた精子のカルシウムイメージング実験	名古屋大学
カタユウレイボヤ胚における高速ライブイメージング観察	東北大学大学院生命科学研究科附属浅虫海洋生物学教育研究センター
センター所属学生との共同研究を行うため、研究打合せおよび魚類標本作製	東京海洋大学
テトラヒメナの野生型細胞とアクチン変異株の遊泳運動能力について解析	筑波大学生物学類
ホヤの発生に関する実験	中央大学理工学部生命理工
ムラサキウニの採集	日本大学医学部一般教育学系生命倫理学分野
ヤカドツノガイ採集	海洋研究開発機構
沿岸生態系に対する海洋酸性化の影響評価	気象研究所
海産カジカ科魚類精子のタンパク質のプロテオーム解析	新潟大学大学院自然科学研究科
海産カジカ科魚類精子の微細構造観察	大阪市立大学
海水溶存態有機物からの凝集体生成過程に関する実験	筑波大学生命環境科学研究科
海洋プランクトンの採集調査	Institute of Parasitology (チェコ共和国)
海洋酸性化に関する石灰藻への影響	Coro~na University
海洋表層における蛍光性溶存態有機物の動態	筑波大学生命環境科学研究科環境科学専攻
環境省モニタリングサイト 1000（沿岸域調査）に関する藻場調査を実施するため	東北大学大学院
魚類の精子の構造、生理機能に関する研究	University of South Bohemia
金目鯛精子保存に関する共同研究	静岡県水産技術研究所伊豆分場
研究打ち合わせおよびウバウオ科魚類の採集	鹿児島大学水産学研究科
式根島の CO2 シープで海洋酸性化によるサンゴへの影響	香港大学
式根島の CO2 シープで海洋酸性化によるベントスとウニへの影響	香港大学
式根島の観光実態調査	筑波大学
式根島調査：酸性化の影響評価	オタゴ大学

式根島調査：窒素循環におけるサンゴの役割に対する酸性化の影響評価	香港大学
大室ダシ周辺にてドレッジ調査を行い、岩石標本ならびに生物標本を収集し自然史学的研究をおこなう	国立科学博物館
第13回 JAMBIO 沿岸生物合同調査	北海道大学
第59次日本南極地域観測隊の部門別訓練（潜水・湖沼観測）	国立極地研究所
沈降粒子の分解性の検証（セジメントトラップ）	筑波大学生物学類
有用天然化合物を産する海綿動物とその共生微生物の多様性解明と分類学的基盤の確立	名古屋大学大学院理学研究科附属臨海実験所
共藍藻生性渦鞭毛藻類の採集及び観察	東北大学生命科学研究科生物多様性進化分野

# プレスリリース資料

## (筑波大学 HP に掲載された資料)

- 2017年 5月 1日 動物と植物の分かれ道-カルシウム依存的な鞭毛反応に 稲葉一男/柴小菊  
みられる逆関係  
<http://www.shimoda.tsukuba.ac.jp/images/news/170501News-JPR-inaba.pdf>
- 2017年 7月 19日 線虫から脊椎動物まで保存された発生メカニズム-進化 堀江健生  
的に広く保存された感覚神経細胞が作られる仕組みの  
解明  
<https://www.tsukuba.ac.jp/journal/images/pdf/170719horie-2.pdf>
- 2017年 9月 7日 繊毛が協調して波打つ仕組み-ウニ胚運動を司る因子の 稲葉一男/柴小菊  
解明  
<https://www.tsukuba.ac.jp/journal/images/pdf/170907inaba-2.pdf>
- 2017年 12月 19日 日本近海で初の珍渦虫の新種を発見-動物の起源や進化 中野裕昭  
過程を探る糸口に-  
<https://www.tsukuba.ac.jp/journal/images/pdf/201712181000-1.pdf>
- 2018年 3月 13日 バフンウニのゲノムを解読-研究・教育推進のためのデ 谷口俊介  
ータベースを公開  
<https://www.tsukuba.ac.jp/journal/images/pdf/180315taniguchi-3.pdf>

## 動物と植物の分かれ道 — カルシウム依存的な鞭毛反応に見られる逆関係



図 海水中におけるムラサキウニ *Anthocidaris crassispina* 精子（上2段）及びプラシノ藻 *Pterosperma cristatum*（下2段）の鞭毛運動。（*Journal of Plant Research* vol. 130, No. 3の表紙より）

筑波大学下田臨海実験センターの柴小菊助教、稲葉一男教授は、鞭毛の運動制御の仕組みが動物系統と植物系統で真逆の関係にあることを突き止めました。鞭毛や繊毛は真核生物に広く保存されている運動装置です。その運動の方向制御は、水中における細胞や胚の運動、形態形成などにおいて非常に重要です。この制御は、カルシウムイオンがカルシウムセンサーを介して分子モーターであるダイニンに作用し、鞭毛・繊毛の波形の対称性を変化させることにより行われます。例えば、鞭毛が対称波を描くと精子はまっすぐ進み、非対称波では円運動を行います。これまでの研究により、動物系統と植物系統が分かれる進化過程において、それぞれ別の「カルシウムセンサー」タンパク質が用いられるようになったことが同グループの研究により明らかにされてきました。本研究では、ウニの精子と海産のプラシノ藻の鞭毛運動をさまざまなカルシウムイオン条件下で比較解析を行いました。その結果、高カルシウムイオン条件下ではウニ精子が非対称波形の鞭毛運動を行うのに対し、プラシノ藻では逆に対称波運動を行いました。逆に、カルシウムイオン濃度が低い条件下では、ウニ精子は対称波で運動を行いますが、プラシノ藻では非対称運動を行うことが明らかになりました。この結果は、真核生物進化の過程でオピストコンタ（動物＋菌類）とバイコンタ（植物や藻類、繊毛虫など）において、ダイニンのカルシウムセンサーの獲得が独立に起こったという同グループの説を裏付けるものです。



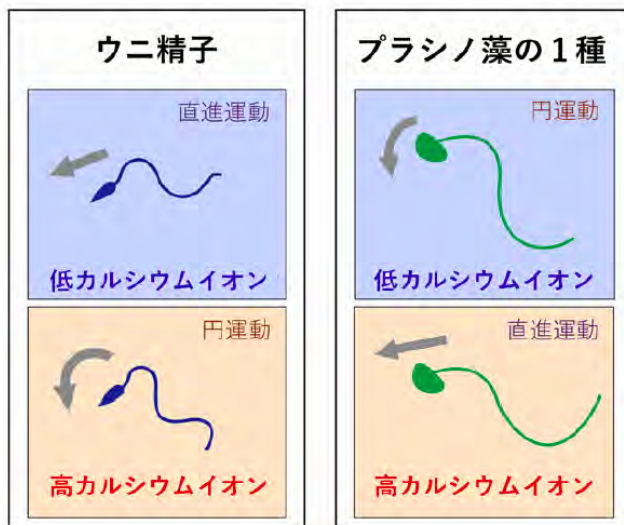


図 ウニ精子は低カルシウム条件下では対称な波を打って直進運動を行うのに対し、プラシノ藻類は非対称な波を打って円運動を示す。一方、高カルシウム条件下ではウニ精子は非対称波・円運動、プラシノ藻は対称波・直進運動を行う。このような逆関係が両者に見られる。

【題名】 Inverse relationship of  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent flagellar response between animal sperm and prasinophyte algae

(和文タイトル) 動物精子とプラシノ藻のカルシウム依存的な鞭毛反応に見られる逆関係

【著者名】 Kogiku Shiba (柴小菊)、Kazuo Inaba (稲葉一男)

【掲載誌】 Journal of Plant Research, May 2017, Volume 130, Issue 3, pp 465–473

問合わせ先

稲葉 一男 (いなば かずお)

下田臨海実験センター 教授

線虫から脊椎動物まで共通して保存されている発生メカニズム  
～進化的に広く保存された感覚神経細胞が作られる仕組みの解明～

研究成果のポイント

1. 線虫から脊椎動物まで進化的に広く保存された感覚神経細胞が作られる仕組みを解明しました。
2. 感覚神経細胞の分化には、*Msx/Vab-15* という共通の遺伝子が関与していました。
3. 多様な動物で神経細胞が作られる共通の仕組みに迫る研究です。

国立大学法人筑波大学 生命環境系 堀江健生 国際テニュアトラック助教らの研究グループは、米国プリンストン大学、中国精華大学、浙江大学との共同研究により、進化的に広く保存された感覚神経細胞が作られる仕組みを解明しました。

脊椎動物では、感覚神経細胞は神経板と表皮の境界領域(神経板境界領域)から生じる神経堤細胞<sup>※1</sup>およびプラコード<sup>※2</sup>から作られます。最近になって、脊椎動物に最も近縁な海産無脊椎動物であるホヤにおいて、神経堤細胞の起源的な性質を備えた細胞が存在することや、そこから感覚神経細胞が作りだされる仕組みは報告されていましたが、ホヤ以外の無脊椎動物においては明らかになっていませんでした。

本研究では、線虫、ショウジョウバエ、ホヤ、アフリカツメガエルを用いて、特に側方の神経板境界領域の特異化や形成に重要な役割をする *Msx/Vab-15* 遺伝子の発現領域の解析と機能解析を行いました。その結果、実験を行った全ての動物において *Msx/Vab-15* 遺伝子が、感覚神経細胞の分化に必要な不可欠な役割をしており、線虫から脊椎動物まで共通のメカニズムを用いて感覚神経細胞を作りだしていることを明らかにしました。

本研究の成果は、米国科学アカデミー紀要「Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)」でオンライン公開される予定です。

\* 本研究は、日本学術振興会の科学研究費補助金、筑波大学戦略イニシアティブ推進機構プレ戦略イニシアティブ研究プロジェクト提案型の支援により実施されました。

研究の背景

感覚器・感覚神経細胞は光、音、匂い、接触刺激など、外界からの環境刺激を受け取るために重要な神経細胞です。脊椎動物では、脳や脊髄などの中枢神経系は神経板から、感覚神経細胞は神経板と表皮との境界領域(神経板境界領域)から生じるプラコードおよび神経堤細胞という構造から作られます。神経板と表皮の前方の境界領域にはプラコードが、神経板と表皮の側方の境界領域には神経堤細胞が作られ、プラコードからは感覚器や頭部の感覚神経細胞が、神経堤細胞からは末梢神経系に分布する感覚神経細胞が作られます。一方、無脊椎動物はプラコードや神経堤細胞は持っていないと考えられており、中枢神経系の近傍の表皮細胞から感覚神経細胞が分化することが知られています。最近、脊椎動物に最も近縁な海産無脊椎動物であるホヤにおいて、神経堤細胞の起源的な性質を備えた細胞が存在し、そこから感覚神経細胞が分化することやその分化を制御している遺伝子回

路についての報告がなされていますが、ホヤ以外の無脊椎動物においても神経堤細胞の起源的な性質を備えた細胞が存在するかどうかや、感覚神経分化を制御している遺伝子回路が存在するかどうかについてはわかっていませんでした。そこで本研究グループは、線虫、シウジョウバエ、ホヤ、アフリカツメガエルなどの様々な動物を用いて、感覚神経細胞の分化機構について研究を行いました。

### 研究内容と成果

本研究グループは、まず線虫を用いて、脊椎動物の側方の神経板境界領域の特異化や形成に重要な役割をする *Msx/Vab-15* 遺伝子の発現領域の解析とその機能を調べました。その結果、*Msx/Vab-15* 遺伝子は胚発生の時期に中枢神経系と末梢の感覚神経細胞を作りだす表皮で発現していました(図1参照)。*Msx/Vab-15* 遺伝子の機能を破壊した線虫を作製したところ、感覚神経細胞の分化は阻害されました。したがって、線虫においては *Msx/Vab-15* 遺伝子が感覚神経細胞を作るために必要不可欠であることが分かりました。次に、*Msx/Vab-15* 遺伝子の働きを、シウジョウバエ、ホヤ、アフリカツメガエルを用いて調べたところ、実験を行ったすべての動物において *Msx/Vab-15* 遺伝子が感覚神経細胞を作るために必要不可欠であることが分かりました。以上のことから、線虫から脊椎動物までの左右相称動物<sup>注3</sup>において、*Msx/Vab-15* という共通の遺伝子が感覚神経細胞の分化に使われていることが明らかになりました。

### 今後の展開

今回の研究は、線虫から脊椎動物に至るまで進化的に保存された感覚神経細胞の分化機構を明らかにしたものです。すでに本研究グループは、*Msx/Vab-15* 遺伝子以外にも、感覚神経細胞やその他の神経細胞の分化に重要な役割をしている遺伝子を多数同定しています。今後も、様々な動物の研究を通して、神経細胞が作られる仕組みの共通原理を明らかにしていきたいと考えています。

### 参考図

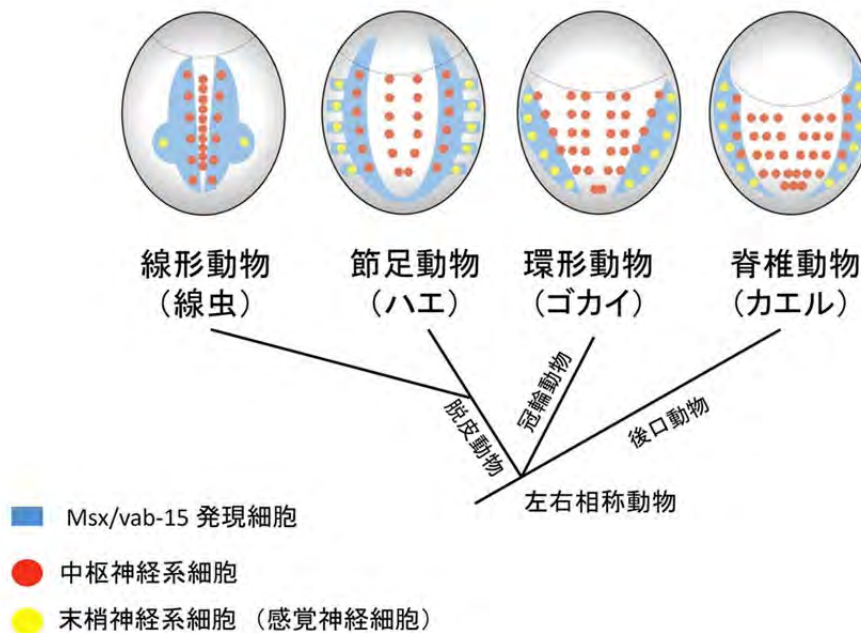


図1. 様々な動物における胚発生過程における *Msx/Vab-15* 遺伝子が発現する場所と中枢神経系の細胞と末梢神経系細胞(感覚神経細胞)の分布。*Msx/Vab-15* 遺伝子は左右相称動物全般において、末梢神経系由来の感覚神経細胞で発現している。

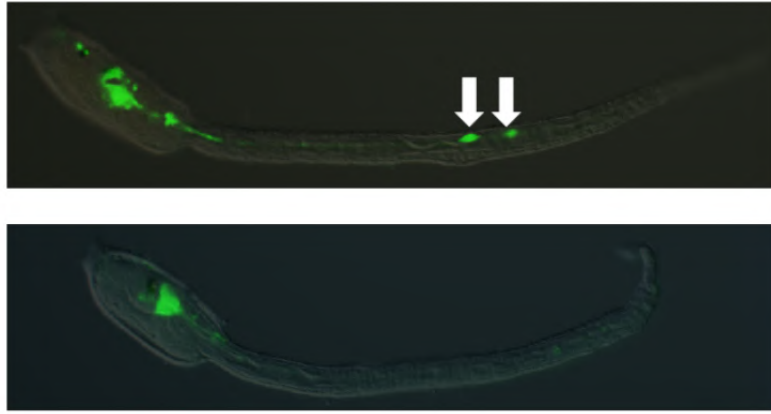


図 2. *Msx/Vab-15* 遺伝子の機能を阻害したホヤ。上の写真はコントロール（対照実験）、下の写真は *Msx/Vab-15* 遺伝子の機能を阻害したホヤ。神経細胞を緑色の蛍光で光らせている。白色の矢印は側方の神経板境界領域から分化する感覚神経細胞を示している。*Msx/Vab-15* 遺伝子の機能を阻害すると感覚神経細胞が完全に失われてしまう。

#### 用語解説

注1) 神経堤細胞

脊椎動物の発生期において神経板と表皮の側方の境界領域に形成される細胞で、感覚神経細胞や色素細胞、頭がい骨や顎の骨などを作り出す。

注2) プラコード

神経板と表皮の前方の境界領域に領域に形成され、主に感覚器のもとになる細胞を作り出す。

注3) 左右相称動物

体の前後を通る軸に対して、体の右半分と左半分が対称的な構造をとる生き物の総称。

#### 掲載論文

【題名】 A Conserved Gene Regulatory Module Specifies Lateral Neural Borders Across Bilaterians  
(左右相称動物間で保存された側方の神経板境界を規定する遺伝子回路)

【著者名】 Yongbin Li<sup>†</sup>, Di Zhao<sup>†</sup>, Takeo Horie<sup>†</sup>, Geng Chen<sup>†</sup>, Hongcun Bao, Siyu Chen, Weihong Liu, Ryoko Horie, Tao Liang, Biyu Dong, Qianqian Feng, Qinghua Tao, Xiao Liu  
(<sup>†</sup>貢献度が同等の筆頭筆者)

【掲載誌】 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)  
doi/10.1073/pnas.1704194114

#### 問い合わせ先

堀江 健生(ほりえ たけお)

筑波大学 生命環境系 (下田臨海実験センター) 国際テニュアトラック助教(プリンストン大学滞在中)

〒415-0025 静岡県下田市 5 丁目 10-1

## 繊毛が協調して波打つ仕組み ～ウニ胚運動を司る因子の解明～

### 研究成果のポイント

1. ウニ胚の繊毛の協調運動はカラクシンによって調整されていることを発見しました。
2. カラクシンは、精子の鞭毛の分子モーターをカルシウム依存的に調節することが知られていたタンパク質です。
3. 繊毛を持つ動物プランクトンの行動メカニズム解明、繊毛が関与するヒト疾患の原因解明の基礎的知見となります。

国立大学法人筑波大学生命環境系 稲葉一男教授らの研究グループは、フランスCNRS・ビルフランシユ・シュルメール臨海実験所との共同研究により、ウニ胚繊毛の協調運動に必要なタンパク質を特定しました。

ウニをはじめ、多くの水生無脊椎動物の胚には多数の繊毛が生えており、水中を自由に動き回ることができます。その際、胚は、密に生えた繊毛をドミノ倒しのように同一方向に順番に波打つことにより、前進することができます。研究グループは、ホヤの精子が卵に近づく走化性を司る因子として同グループが発見した「カラクシン」が、ウニ胚においては繊毛の協調的運動を司っていることを発見しました。本研究は、繊毛を持つ動物プランクトンの行動メカニズム解明の基礎的知見となります。また、水頭症や内臓逆位など、繊毛が関与するヒト疾患の原因解明の基礎的知見となることも期待されます。

本研究の一部は、2017年9月7日(日本時間同日18時)に Scientific Reports誌オンライン版で公開されます。

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究B「カラクシンによる繊毛機能の調節機構の解明」(研究期間:平成25～27年度)、新学術領域研究(研究領域提案型)シリア・中心体系による生体情報フローの制御・公募研究「繊毛外腕ダイニンによるカルシウム依存的屈曲制御と生体調節」(研究期間:平成27～28年度)、及び日本学術振興会特別研究員奨励費により支援されました。

### 研究の背景

真核生物の鞭毛や繊毛は、波打ち運動を行う直径が0.2 μmほどの毛状の細胞器官です。精子や原生生物の運動や、上皮細胞(注1)の周りの水流を起こします。周りの環境により、運動を速めたり止めたり、方向を変えるなどの変化を示します。また、上皮細胞の複数の繊毛は、1本1本の繊毛がバラバラに動くのではなく、方向を揃え協調して動くことにより、効率よく水流を発生することが知られています。しかし、そのような協調運動を生み出すメカニズムはよくわかっていませんでした。

精子が卵に近寄る走化性(注2)のメカニズムには、カルシウムが重要な役割を果たしています。本研究グループは、5年前に精子の鞭毛の分子モーターである「ダイニン」をカルシウム依存的に調節するタンパク質をホヤの精子



から発見し、「カラクシン」と命名しました(参考文献1)。カラクシンは、運動する鞭毛や繊毛を持っているすべての動物、およびヒトに存在します(参考文献2)。今回、カラクシンが上皮細胞の繊毛においてどのような役割を果たしているのかを、動物プランクトンとして海中を泳ぎ回るウニ幼生を用いて調べました。

### 研究内容と成果

1. 受精後のウニ卵は、細胞分裂を繰り返し、胚や幼生へと発生していきます。バフンウニの場合、受精後14時間の胚には繊毛が生えていますが、まだ効率の良い前進運動を行うことはできません。その後、徐々に前進できるようになり、24時間後には最大の速度で運動します。この時、繊毛のカラクシン量も運動性の上昇に合わせ増加することがわかりました。

2. カラクシンの合成を阻害すると、24時間を経てもあまり前進運動できず、多くの胚はその場でくるくる回っていました。個々の繊毛は激しく運動していましたが、屈曲が浅いことがわかりました(図1)。また、正常胚では、繊毛が打つ方向が揃って効率よく水流を起こすことができるのに対し、カラクシンのない胚では個々の繊毛が打つ方向がバラバラになることがわかりました(図2)。

3. 繊毛の根元には、基底小体(注3)という構造があり、そこから繊毛が生えます。正常な胚では、基底小体の方向が揃っているのに対し、カラクシンがない胚では、方向がバラバラになっていることがわかりました(図3)。

4. 以上の結果から、カラクシンによる繊毛機能の調節によって深い屈曲波が生成すること、それにより繊毛の打つ方向を決定する基底小体の位置(配向)が決まり、方向の揃った繊毛打が生まれ、胚の前進運動が可能になることがわかりました。

### 今後の展開

海産の動物胚はプランクトン生活を送りますが、重力や光、さまざまな化学物質に反応して遊泳方向を変えることがわかっています。この調節は、幼生から成体になる際に海底に着底する時にも重要であると考えられます。本研究の成果は、こうした胚や幼生の行動や海の生態系の成り立ちを理解する上で重要な知見となります。また、繊毛はヒトの脳室や気管、初期胚に体の左右を決定するノード(注4)にも生えており、水流を発生しています。これらの異常は、水頭症、気管支炎、内臓逆位など、繊毛病と呼ばれる疾患の原因となります。本研究は、こうしたヒト疾患のメカニズムを知る上でも重要な基礎的知見となります。

### 参考図

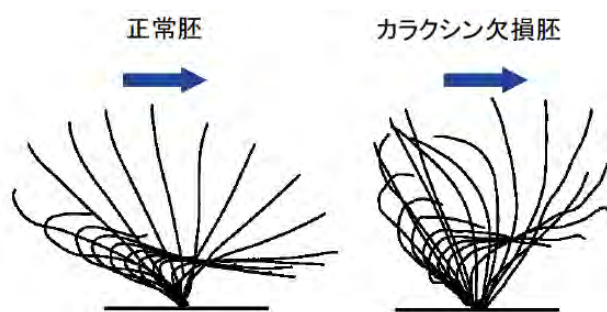


図1. 正常胚とカラクシンを欠損させた胚の繊毛運動。5ミリ秒ごとの波形トレースを重ね合わせたもの。青矢印は発生する水流の方向。

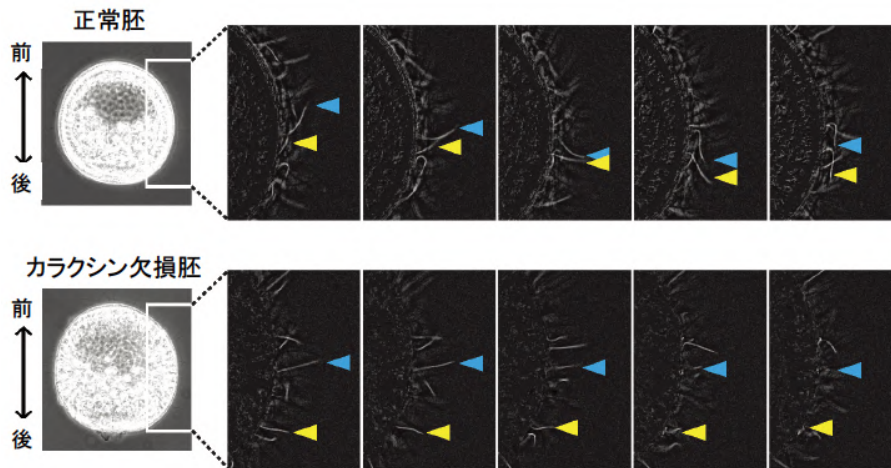


図2. 正常胚とカラクシンを欠損させた胚の繊毛運動。正常胚の側面では前から後ろに向かって繊毛打が伝わっていくが、カラクシン欠損胚では繊毛が打つ方向がバラバラである。

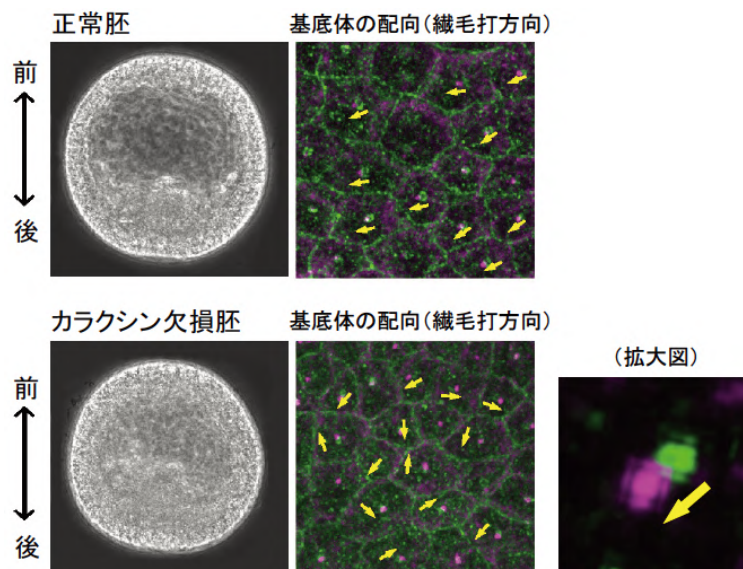


図3. 正常胚とカラクシンの繊毛基底小体の配向。正常胚では基底小体の配向（黄色矢印）が揃っているのに対して、カラクシン欠損胚ではバラバラである。2種類のマーカを用いて基底小体の配向を可視化した（拡大図）。

### 用語解説

注 1) 体表面や組織、器官の表面をおおうシート状の細胞。

注 2) 卵から放出される化学物質により精子が卵に誘引される現象。

注 3) 細胞分裂を司る中心小体の類似構造で、真核生物の鞭毛や繊毛の根元に見られる。

注 4) 初期胚にあらわれる盆状の上皮組織。細胞あたり1本の繊毛が生えており、そこで発生する水流により内臓の左右非対称性が決定する。

## 参考文献

1. K. Mizuno et al., Calaxin drives sperm chemotaxis by  $\text{Ca}^{2+}$ -mediated direct modulation of a dynein motor. Proc Natl Acad Sci USA. 2012. 109: 20497–20502.
2. K. Inaba, Calcium sensors of ciliary outer arm dynein: functions and phylogenetic considerations for eukaryotic evolution. Cilia.2015. 4:6.

## 掲載論文

【題名】 Calaxin establishes basal body orientation and coordinates movement of monocilia in sea urchin embryos

(カラクシンはウニ胚の繊毛基底小体の配向と繊毛の協調した運動を調節する)

【著者名】Katsutoshi Mizuno (水野克俊)<sup>1</sup>, Kogiku Shiba (柴小菊)<sup>1</sup>, Junko Yaguchi (谷口順子)<sup>1</sup>, Daisuke Shibata (柴田大輔)<sup>1</sup>, Shunsuke Yaguchi (谷口俊介)<sup>1</sup>, Gérard Prulière<sup>2</sup>, Janet Chenevert<sup>2</sup>, Kazuo Inaba (稲葉一男)<sup>1</sup>

(1 筑波大学下田臨海実験センター、2 フランス CNRS ビルフランシュール-シュールメール臨海実験所)

【掲載誌】Scientific Reports

Doi: 10.1038/s41598-017-10822-z

## 問い合わせ先

稲葉 一男 (いなば かずお)

筑波大学生命環境系 教授 (下田臨海実験センター)



平成29年12月18日

報道関係者各位

国立大学法人 筑波大学  
情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所  
国立大学法人 北海道大学  
国立大学法人 東京大学大学院理学系研究科日本近海で初の珍渦虫の新種を発見  
—動物の起源や進化過程を探る糸口に—

## 研究成果のポイント

1. 珍渦虫(ちんうずむし)は、きわめて単純な形態を持ち、その生態も謎に包まれているものの、動物進化を解明する上で重要な動物です。
2. その珍渦虫について、日本近海で初めて採取することに成功し、採取された新種から珍渦虫の新たな器官を発見しました。
3. この種を用いて研究を進めることで、動物の起源や進化過程を探る上で興味深い新知見が得られることが期待されます。

筑波大学生命環境系 中野裕昭准教授、筑波大学下田臨海実験センター 宮澤秀幸研究員、国立遺伝学研究所 前野哲輝技術課職員、城石俊彦教授、北海道大学大学院理学研究院 角井敬知講師、東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所 大森紹仁特任助教(現在は、新潟大学助教)、幸塚久典技術専門職員らの研究グループは、日本近海で初めて、珍渦虫を採取することに成功し、それが新種であることを明らかにしました。

珍渦虫は、脳などの集中神経系、肛門等を欠いた非常に単純な体を持つ海生動物です。その単純な構造は、多くの動物の共通祖先の特徴を残している可能性があると考えられています。そのため、珍渦虫の研究をすることが、ヒトも含めて、現在生きている動物の起源や進化過程の解明につながると期待されています。しかし、珍渦虫はこれまでに全世界で5種しか報告されておらず、また、そのほとんどの種は採取が困難であるため、実験動物として扱えず、研究が進んでいないのが現状です。卵からどのような幼生を経て成体になるのか、その個体発生過程も完全にはわかっていません。

本研究では、西太平洋の日本近海で珍渦虫を採取することに成功し、採取された個体はこれまでの5種とは異なる、新種であることを明らかにしました。また、この日本で採取された珍渦虫の体の構造を調べたところ、これまで珍渦虫から報告されていない新しい器官を発見しました。

日本近海の珍渦虫は海外の多くの種と比べると採取しやすい場所、水深に生息しているため、今後、この種を用いて研究を進めることで、動物の起源や進化過程を探る上で興味深い新知見が得られることが期待されます。

本研究成果は、2017年12月18日付で、BMC Evolutionary Biology誌にて公開される予定です。

本研究は、日本学術振興会の科学研究費補助金、国立遺伝学研究所公募型共同研究、スウェーデン・イエテボリ大学の王立科学アカデミー基金、JAMBIOの支援で実施されました。

## 研究の背景

珍渦虫は脳などの集中神経系、肛門、体腔等、現在生きている多くの動物に見られる器官を欠いた非常に単純な体を持つ希少な動物です(図1)。その単純な体は、動物全体の共通祖先の単純な構造を残している可能性があるとして示唆されており、珍渦虫を研究することは、動物全体の祖先の解明につながると期待されています。このように進化的に興味深い珍渦虫ですが、その研究はあまり進んでいません。

珍渦虫が他のどの動物と近縁なのかも、まだよくわかっていません(図2)。2011年に中野らがNature誌に発表した論文では、珍渦虫は、現在生きている動物の中では、むしろヒトを含む脊索動物<sup>(注1)</sup>に比較的的近縁であることが、DNAの塩基配列の大規模な解析などから示唆され、新たな動物門<sup>(注2)</sup>「珍無腸動物門」が提唱されました。しかし、2016年に発表された論文では、「珍無腸動物門」はクラゲなどとともに原始的な動物であると報告され、他の動物との類縁関係についてはこの2つの説のあいだで決着がついていません。

珍渦虫が卵からどのような幼生を経て成体になるのか、その発生過程もまだ完全には解明されていません。2013年に中野らがNature Communications誌に発表した論文では、珍渦虫の幼生は、消化管などのないきわめて単純な構造を持っていることが報告されました<sup>(注3)</sup>。しかし、卵から幼生までの過程は、いまだに解明されていません。

珍渦虫は1878年に初めて採集され、1949年に科学的に報告されましたが、全世界で1種しか発見されていないという状態が長く続いていました。スウェーデンの西海岸の水深100m前後の海底に生息する*Xenoturbella bocki*という種で、体長は1~3cm程度です。この種を研究することで珍渦虫の構造や幼生などに関する多くの情報が得られてきましたが、珍渦虫という動物を研究するのに1種で充分なのか、世界中には他の種の珍渦虫はいないのか、という疑問がありました。また、冬場にはこの種の生息地であるスウェーデン西海岸の海が凍りついてしまい採取が不可能になってしまう年もあるなど、実験に障害がありました。そのような中、2016年には、アメリカ・メキシコ西海岸の東太平洋で4種の新種が報告されました。これらの種の中には体長が20cmを超えるものもあり、珍渦虫に関する知見が大きく広がりました。しかし、東太平洋の4種はどれも水深数百メートルよりも深い海底に生息しており、採取するにはROV(無人潜水機)などが必要であること、採取個体数が非常に少ないことなどから、実験を行うのが困難でした。よって、珍渦虫の研究を大きく発展させるためには、*Xenoturbella bocki*のように採取が困難ではない、かつ冬でも採取可能で一年中実験に使用可能な珍渦虫の発見が期待されています。

## 研究内容と成果

本研究では、ROVなどを使用することなく、日本近海で2個体の珍渦虫の採取に成功しました。1個体目は2013年7月18日に中央水産研究所の研究船蒼鷹丸での調査航海(主席:藤本賢博士、中央水産研究所)の際に、東北沖の水深517-560mでビームトロール<sup>(注4)</sup>を用いて採取されました。2個体目は2015年12月9日に、東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所の調査船臨海丸を用いたJAMBIO共同利用・共同研究プロジェクトによる調査(主席:並河洋博士、国立科学博物館)の際に、三浦半島沖の水深380-554mでドレッジ<sup>(注4)</sup>を用いて採取されました(図1)。

これらの2個体の構造をマイクロCTスキャン(microCT)<sup>(注5)</sup>を使って調べたところ、その消化器官、神経系、筋肉など、基本的な構造はこれまで知られている5種の珍渦虫とよく似ていることが判明しました。しかし、日本の2個体では前端に小さな孔が開いており、そこから後方へと続く構造が存在することを発見しました。この構造はこれまで海外の珍渦虫からは報告がありませんでした。この発見を受けて、スウェーデンの*Xenoturbella bocki*もmicroCTを用

いて観察したところ、この前端孔が存在することが明らかになりました。これらのことから、microCT という観察方法が珍渦虫の詳細な構造を解明するのに非常に強力であることが示されました。

日本で採取された珍渦虫2個体の DNA の塩基配列を解析したところ、これまで報告されている海外の5種とは別種であること、および日本の2個体が同種である可能性が高いことが判明しました。このことから、日本で見つかった珍渦虫を *Xenoturbella japonica* と命名し、珍渦虫の6番目の種として報告しました。

### 今後の展開

このように、日本近海には、冬でも凍らない海域で、ROV など特殊な器具がなくても採取可能な場所、水深に、珍渦虫が生息していることが判明しました。今回採取に使用されたドレッジは、日本各地の臨海実験所で使用されています。本研究で *Xenoturbella japonica* の生息環境が判明したので、今後は、今回採取された2箇所に加え、日本近海の似た環境の新たな場所でも探索を続けることで、日本近海の珍渦虫の生息状況を明らかにし、研究対象として扱いやすい珍渦虫の集団を探索していく予定です。

日本近海で採取された珍渦虫で研究を重ね、その結果を海外の珍渦虫と比較することによって、珍渦虫の起源や進化に迫れることが期待されます。また、他の動物と比較することで、動物全体の共通祖先やヒトを含む様々な動物の進化過程の解明を目指します。

### 参考図



図 1：三浦半島沖で採取された珍渦虫 *Xenoturbella japonica*。体長は 5 cm 程度である。写真の左側が前方であり、右側が後方。中央をベルト状に横断する線があるのが珍渦虫の特徴。（撮影：大森紹仁）

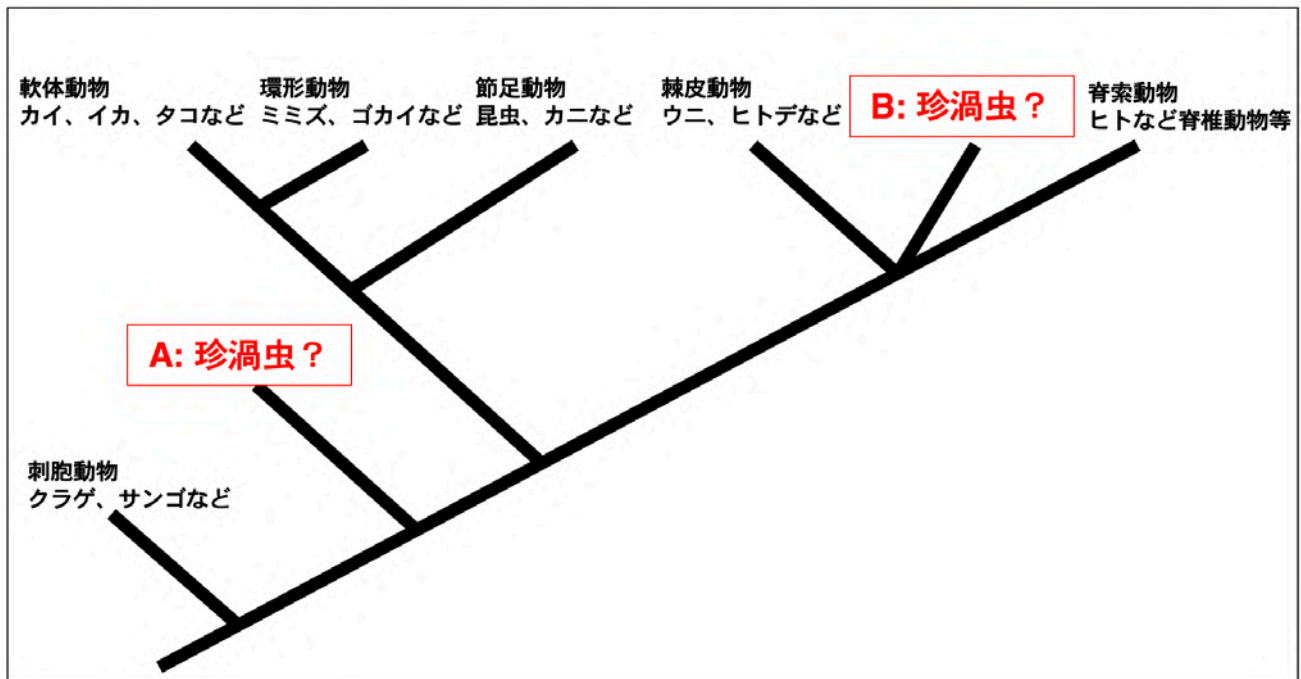


図2: 珍渦虫と他の動物との類縁関係。珍渦虫は、クラゲなどに近い原始的な動物であるという説(A)と、現在生きている全動物の中で、ヒトを含む脊索動物に比較的近縁であるという説(B)があり、どちらが正しいか、まだ解明されていない。

### 用語解説

#### 注1) 脊索動物

いわゆる脊椎動物と、ホヤを含む尾索動物、ナメクジウオを含む頭索動物からなるグループ。

#### 注2) 珍渦虫と無腸類からなる新しい動物門 Xenacoelomorpha(珍無腸動物門)を提唱した。

Philippe H, Brinkmann H, Copley RR, Moroz LL, Nakano H, Poustka AJ, Wallberg A, Peterson KJ & Telford MJ. Acoelomorph flatworms are deuterostomes related to *Xenoturbella*. **Nature** 470, 255-258 (2011)

#### 注3) *Xenoturbella bocki*の幼生を報告した。

Nakano H, Lundin K, Bourlat SJ, Telford MJ, Funch P, Nyengaard JR, Obst M & Thorndyke MC. *Xenoturbella bocki* exhibits direct development with similarities to Acoelomorpha. **Nature Communications** 4: 1537 doi: 10.1038/ncomms2556 (2013)

#### 注4) ビームトロール、ドレッジ

底引き網と似た形・使用法の生物採取用の器具。網やカゴ状のものがあ、船上から海底におろし海底を引きずることで底生の生物を採取する。

#### 注5) マイクロ CT スキャン(microCT)

病院で使用されているCT スキャンと同じような技術。観察できる範囲は狭いが、より細かい構造の観察が可能である。観察したい標本を破壊することなく、その内部構造を観察することができる。

## 掲載論文

【題名】 A new species of *Xenoturbella* from the western Pacific Ocean and the evolution of *Xenoturbella*  
(西太平洋からの珍渦虫の新種の発見と珍渦虫の進化)

【著者名】 中野裕昭(筑波大学生命環境系、下田臨海実験センター)、宮澤秀幸(筑波大学下田臨海実験センター)、前野哲輝(国立遺伝学研究所)、城石俊彦(国立遺伝学研究所)、角井敬知(北海道大学)、小柳亮(沖縄科学技術大学院大学)、神田美幸(沖縄科学技術大学院大学)、佐藤矩行(沖縄科学技術大学院大学)、大森紹仁(東京大学大学院理学系研究科、現:新潟大学理学部附属臨海実験所)、幸塚久典(東京大学大学院理学系研究科)

【掲載誌】 BMC Evolutionary Biology  
DOI 10.1186/s12862-017-1080-2

## 問合わせ先

中野 裕昭(なかの ひろあき)  
筑波大学 生命環境系、下田臨海実験センター 准教授  
〒415-0025 静岡県下田市 5-10-1



平成30年3月15日

報道関係者各位

国立大学法人 筑波大学  
情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所  
国立大学法人 お茶の水女子大学  
国立大学法人 広島大学

## バフンウニのゲノムを解読 ～研究・教育推進のためにゲノムデータベースを公開～

### 研究成果のポイント

1. 日本産バフンウニのゲノムを解読し、データベース HpBase においてその情報を公開します。
2. 北米地域以外に生息するウニとしては、初めてゲノム情報が明らかになりました。
3. HpBase を利用しての発生生物学・細胞生物学の発展に加え、進化生物学分野や教育分野における情報の提供源としての利用価値が期待されます。

筑波大学 生命環境系 谷口俊介准教授(下田臨海実験センター)は、情報・システム研究機構国立遺伝学研究所 遺伝情報分析研究室 池尾一穂准教授、金城その子研究員、お茶の水女子大学 湾岸生物教育研究センター 清本正人准教授、広島大学 大学院理学研究科 山本卓教授との共同研究により、バフンウニ(*Hemicentrotus pulcherrimus*)のゲノム配列を解読しました。

バフンウニは北海道南端より南の地域の海岸線でよく見られるウニの一種であり、地域によっては貴重な漁獲対象物となっています。また、その採集のしやすさ、卵や精子といった配偶子取得の容易さから、発生生物学、細胞生物学等の優れた研究材料としてだけでなく、動物の発生を学ぶ教育現場においても、我が国では長い間利用されてきました。本研究では、バフンウニのゲノム配列を解読し、研究・教育の過程で利用できるデータベース「HpBase」(<http://cell-innovation.nig.ac.jp/Hpul/>)を作成しました。

本研究の成果は2018年3月13付で日本発生生物学会の機関誌「Development Growth & Differentiation」にて先行公開されました。データベースは3月19日公開の予定です。

\* 本研究は、AMEDおよび文部科学省の助成金によって実施されました。

### 研究の背景

ウニは日本人にとって有用な海産食材であるとともに、磯遊び等でよく目にするなじみ深い動物の一種です。また、その成体の採集のしやすさ、配偶子(卵・精子)取得の容易さ、胚・幼生の体が透明であること等から、発生生物学・細胞生物学の研究教育分野において、長い間、世界中で利用されてきました。ゲノム・遺伝子配列の情報が必須である現在の生物学においては、2006年に北米産のアメリカムラサキウニ(*Strongylocentrotus purpuratus*)の

ゲノム配列が公表されてから(参考文献1)、その情報をもとに研究が発展してきました。その一方で、日本でのウニ研究において主に使用されるバフンウニ(*Hemicentrotus pulcherrimus*)や、ヨーロッパにおけるヨーロッパムラサキウニ(*Paracentrotus lividus*)のゲノム情報はこれまで報告されておらず、種の違いによるDNA配列の違いが、時には研究進行上の妨げになってきました。その点を克服するため、今回、本研究グループはバフンウニのゲノム配列を明らかにすると共に、その情報を含むデータベース「HpBase」を作成し、公開しました。

## 研究内容と成果

静岡県下田市にある、筑波大学下田臨海実験センター周辺でとれたオスのバフンウニ一匹の精子からゲノムDNAを抽出し、次世代シーケンス技術<sup>(注1)</sup>を用いてゲノムの塩基配列を決定しました。また、1ペアのオスメスから得られた卵と精子を用いて受精し、発生させた胚のトランスクリプトーム解析<sup>(注2)</sup>を、受精後2時間、14時間、21時間、43時間の4つのタイミングにおいて行いました。

得られた情報をもとに、国立遺伝学研究所において開発・提供している次世代シーケンサー解析プラットフォームMaser<sup>(注3)</sup>を用いて、ゲノム構造や遺伝子配列予測の解析等を行いました。それらの結果から、バフンウニのゲノムは、約800メガベースあり、約2万5千個程度の遺伝子を含んでいることがわかりました。今後の追加解析により、これらの数値は増減する可能性があります。現時点では、アメリカムラサキウニのゲノム解析で得られたデータと非常に類似した結果になっています。

今回解析したバフンウニのゲノム情報はデータベース「HpBase」(<http://cell-innovation.nig.ac.jp/Hpul/>)にて公開されています。HpBaseは以下の6つの項目から構成されています(図)。

- 1) ホーム
- 2) 遺伝子検索(特定の遺伝子を遺伝子名、遺伝子ID等から検索できます)
- 3) ホモロジー検索(特定の遺伝子配列を基に、類似の配列を持ったゲノム配列、遺伝子配列を検索できます)
- 4) ゲノムビューアー(ゲノム内における特定の遺伝子の位置等、ゲノム構造を見ることができます)
- 5) データ(解析に用いたシーケンスデータ等をダウンロードできます)
- 6) プロトコール(バフンウニを用いた実験手法をダウンロードできます。また、研究者は自身の実験手法を自由にアップロードできます)

データベース訪問者は、それぞれの研究や教育の現場において、これら全てを自由に活用できます。また、情報は今後の追加解析により更新され続けて行く予定です。

## 今後の展開

日本を含むアジア地域において、そこに生息するバフンウニのゲノム配列が明らかになり、誰もが利用できるデータベースになっていることは、発生生物学・細胞生物学だけでなく、進化生物学分野においても、利用価値が高いものになると思われます。また、今後シーケンス技術の発展により、誰もが好きな生物のゲノム情報やトランスクリプトーム情報を、簡便に取得できる時代が来ることは確実です。その際に、シーケンス情報の羅列をデータとして残すだけでなく、全ての人々が利用できるデータベースの形として残すことが重要になってきます。本研究成果で示したように、サンプルおよびデータの取得・解析・公開までの一連の流れが、未だゲノムが解明されていない実験対象動物において展開することが期待されます。

本研究のゲノム解析で精子を利用したオスの子孫が、筑波大学下田臨海実験センターおよびお茶の水女子大学湾岸生物教育研究センターにおいて維持されているため、それらを用いた研究や教育が展開することが期待されます。

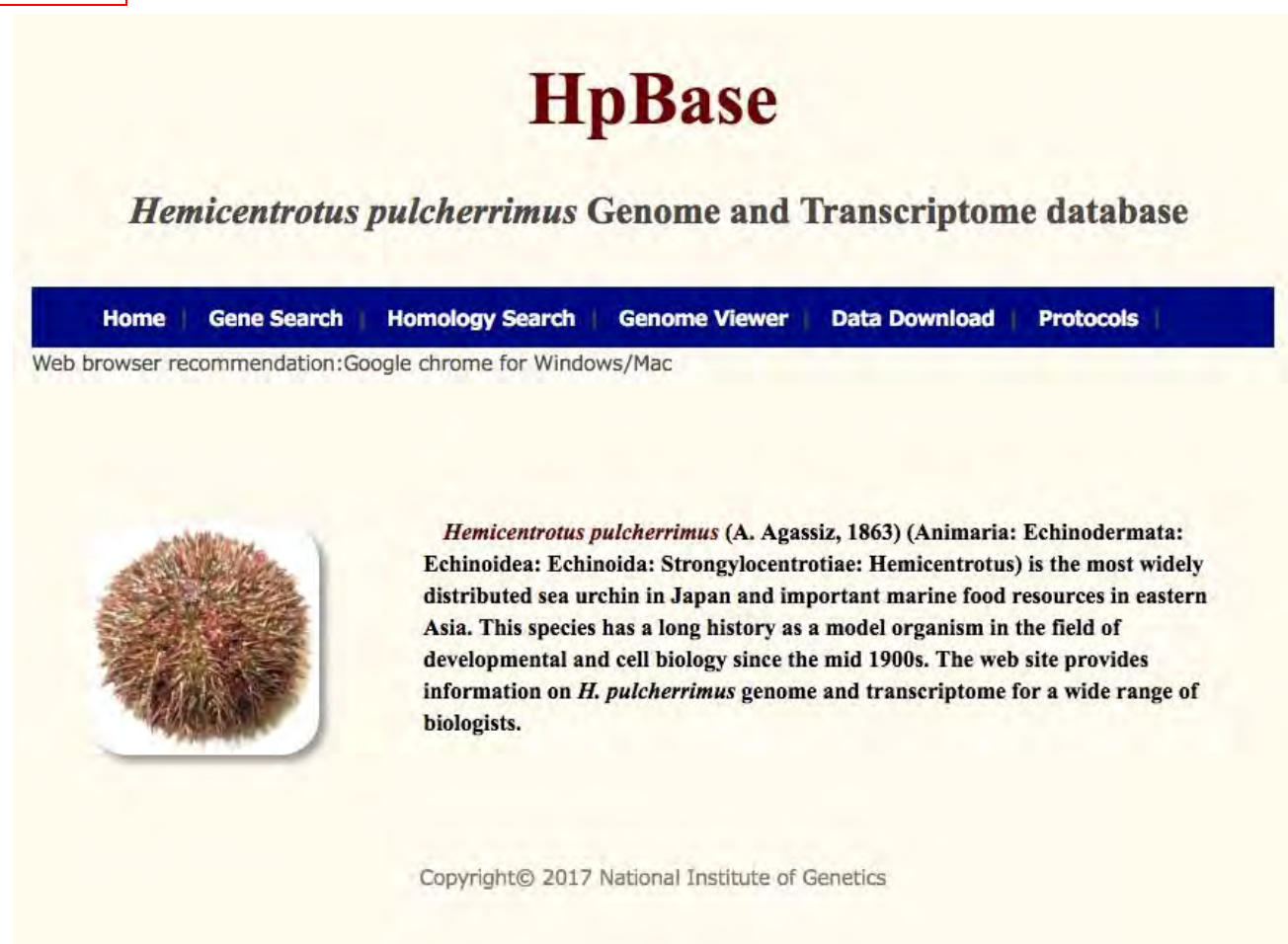


図.HpBase のトップページ

#### 用語解説

- 注1) 次世代シーケンス技術: DNA を構成する塩基を同時並行的に読むことができ、膨大な量の配列を一度に決定することができる。現在主流のシーケンス技術。
- 注2) トランスクリプトーム解析: 発現している RNA 配列全てを決定する解析。注1)の次世代シーケンス技術を利用する。
- 注3) Maser: 国立遺伝学研究所により開発・提供されている次世代シーケンサーデータの解析ツール ([http://cell-innovation.nig.ac.jp/public/contents/service.html#pf\\_maser](http://cell-innovation.nig.ac.jp/public/contents/service.html#pf_maser))。

#### 参考文献

Sodergren, E. et al., 2006. The genome of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *Science*, 314(5801), pp.941–52.

#### 掲載論文

【題名】 HpBase: a genome data base of a sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*  
(HpBase: バフンウニゲノムのデータベース)



【著者名】 Sonoko Kinjo<sup>1</sup>, Masato Kiyomoto<sup>2</sup>, Takashi Yamamoto<sup>3</sup>, Kazuho Ikeo<sup>1</sup>, Shunsuke Yaguchi<sup>4</sup>

<所属>

<sup>1</sup> 国立遺伝学研究所 遺伝情報分析研究室

<sup>2</sup> お茶の水女子大学 湾岸生物教育研究センター

<sup>3</sup> 広島大学 大学院理学研究科

<sup>4</sup> 筑波大学 下田臨海実験センター

【掲載誌】 *Development Growth & Differentiation*

DOI: 10.1111/dgd.12429

問合わせ先

谷口 俊介（やぐち しゅんすけ）

筑波大学 生命環境系 准教授（下田臨海実験センター）

〒415-0025 静岡県下田市五丁目10-1

発 行

筑波大学下田臨海実験センター

〒415-0025 静岡県下田市5丁目 10-1

TEL : 0558-22-1317

FAX : 0558-22-0346

URL: [http:// www.shimoda.tsukuba.ac.jp/](http://www.shimoda.tsukuba.ac.jp/)

E-mail: [jim@kurofune.shimoda.tsukuba.ac.jp](mailto:jim@kurofune.shimoda.tsukuba.ac.jp) (事務室)