

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月28日現在

機関番号：12102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22870003

研究課題名（和文）後生動物発生様式の網羅的解析による幼生型の多様性と進化の解明

研究課題名（英文）Studies on larval diversity and evolution through comprehensive analyses on metazoan development

## 研究代表者

中野 裕昭 (NAKANO HIROAKI)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：70586403

研究成果の概要（和文）：後生動物発生様式の網羅的解析を行う中で、当初から注目予定であった平板動物と珍渦虫の研究で特に成果が得られた。平板動物については採集方法を確立し、繁殖期に関する予備的なデータも得ている。採集個体は研究室内で長期飼育しており、分裂の観察にも成功している。珍渦虫は新口動物内の第4の門に属すると報告し、その精子や胚の電子顕微鏡観察を行った。これらの結果から、後生動物の幼生型の多様性と進化について新たな知見を得た。

研究成果の概要（英文）：During the comprehensive analyses on metazoan development, significant results were obtained in particular from placozoans and *Xenoturbella*. For placozoans, a reliable collection method was established and preliminary data on its reproductive cycle have been obtained. I have also succeeded in keeping placozoans in lab, and asexual reproduction by division was observed. *Xenoturbella* was found to belong to a fourth phylum within the deuterostomes, and ultrastructural studies were performed on its sperm and larvae. New implications on the diversity and evolution of metazoan development were acquired from these results.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,420,000	726,000	3,146,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：生物科学、進化生物学

キーワード：後生動物、新口動物、発生、幼生、多様性、進化、平板動物、珍渦虫

## 1. 研究開始当初の背景

海産性のプランクトン型幼生を伴う発生は新口動物や旧口動物、刺胞動物でも見られ、後生動物全体として原始的な発生様式であ

ると考えられている。しかし、新口動物の代表的な幼生型であるディプリューラ型幼生、旧口動物のトロコフォア型幼生、刺胞動物のプラヌラ幼生は互いに異なった体制を

もち、後生動物全体の共通祖先がどのような幼生型を有していたか、そして現在見られる各幼生型が祖先型からどのように進化してきたかは諸説あるものの未解明である。

幼生型の起源と進化の解明が遅れている要因の一つとして、発生学的データの全体的な不足が挙げられる。発生学がさかんに行われてきたグループや水産学的価値のあるグループでは詳細な発生の記述が行われているものの、他の多くのグループでは限られた種の発生の報告があるのみで、門の発生様式の全体像が明確ではない場合が非常に多い。例として棘皮動物門に着目すると、ウニは古くから発生学で用いられ多くの種の発生の報告があるものの、現生で最も原始的な棘皮動物のグループである有柄ウミユリ類に関しては、私が2003年に記述したトリノアシ一種のみしか発生の報告がない。

報告が既に存在する種に関しても卵割から原腸胚まで、または幼生のみと不完全な発生の記録が多く、卵割から胞胚、原腸陥入、孵化、幼生、変態、幼若体と完全な発生過程の解明が待たれる。また、数十年前の古い記述以来、まったく発生の報告がない種も多い。これらの種は実体顕微鏡で外見を、切片を複製し光学顕微鏡で内部構造を観察しただけのものが多く、一部は写真もないものもある。これらの種については近年開発された電子顕微鏡や抗体染色等の技術を用いることで、新たな知見が得られる可能性がある。

系統学的に重要な位置を占めるにも関わらず、門全体として発生の報告が存在しない門も未だに存在する。そのような動物の例として、平板動物と珍渦虫がある。

#### (1) 平板動物

平板動物は直径約0.5mmのアメーバ状の海産動物であり、器官と大部分の組織を欠き、神経細胞や筋肉細胞もない。その単純な体制から現生の中でも原始的な動物の一つとされ、系統学的研究もさかんだが、発生に関しては卵から64細胞期までが報告されているだけで、それ以降の発生段階及び精子は未だ記述されていない。その理由の一つとして、現在世界中で研究に用いられているほとんどの個体が紅海で採集された単一個体由来の実験室飼育系統であることが挙げられる。平板動物を理解するためには、今後は別の系統や種を用いた研究が必須である。

#### (2) 珍渦虫

珍渦虫は、1cm前後の海産動物で、腹側には口が開くが、肛門はなく、中枢神経系や生殖器官、体腔、排出器官など主要な器官をほとんど欠く。この単純な体制のため、その系統学的位置は長く謎とされてきた。私は2004年から珍渦虫の発生学的・系統学的

研究に取り組んでおり、協同研究者とともに珍渦虫は新口動物の一員であることを明らかにした。しかし、この「新口動物説」に対し、珍渦虫は新口動物ではなく、左右相称動物の中で最初に分岐した無腸類と近縁であるという「無腸類説」が2009年に提唱され、珍渦虫の系統学的位置は未だ決着を見ない。また、珍渦虫は新口動物進化、または後生動物進化を考える上で重要であるが、個体発生の報告はない。

#### 2. 研究の目的

現生のほぼ全ての門には海産性のプランクトン型幼生をもつ種が存在し、多くのグループでは代表的な幼生というものが知られている。しかし、これらの代表型は発生学的研究の進んでいる一部の種に基づいて提案されていることもあり、それらのグループでも大半の種の発生が未報告である場合が目立つ。また、発生の記述のある種においても、数十年前に記述されて以来、科学的な報告がその後ない種も少なくない。本研究では発生学的研究が近年行われてこなかった種の発生様式や幼生型を網羅的に記述し、それらの比較発生学的研究を行うことで幼生型の多様性を明らかにするとともに、そこから共通性を見だし、後生動物の幼生型の起源やその進化を解明することが目的である。特に系統学的に重要な位置を占めるにもかかわらず、門全体としてもこれまでに発生、幼生の報告がない平板動物と珍渦虫に注目する。

#### 3. 研究の方法

本研究は、過去の文献や他の研究者や職員の話など現在入手可能な情報を集め整理することから始める。これらの種に関しては自分でも同様な実験することによりデータの再現性を確認する。また、過去に発生の報告のない種においても積極的に採集し、生殖巣の成熟度から繁殖期を決定し、近縁種の情報に基づいて放卵放精誘起を行う。発生の観察では授精から変態まで一連の流れを写真撮影し、サンプルが充分得られた種については固定し電子顕微鏡観察や抗体染色を行う。また、採集した個体についてはDNAバーコーディングを行い、種の同定をより信頼性の高いものにする。平板動物に関しては紅海由来の系統の手法を元に、下田で採集された個体群の実験室飼育系、および発生系を確立する。また、珍渦虫は繁殖期が1-2月なので、その頃にはスウェーデンに赴き、採集及び発生の観察を行い、得られた幼生に対して電子顕微鏡観察等を行う。

#### 4. 研究成果

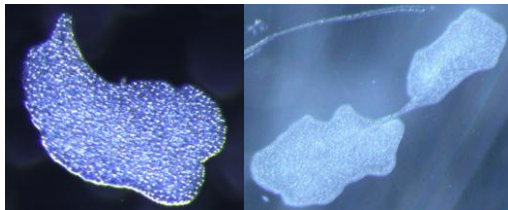
所属機関である筑波大学下田臨海実験センターでは採集動物のデータベース化およ

びその公開が計画されており、本研究で得られた発生や繁殖に関する情報もそのデータベース上で公開する予定である。

後生動物の発生様式の網羅的解析を行う中で、当初から注目する予定であった平板動物と珍渦虫の研究で特に成果が得られた。

#### (1) 平板動物に関して

これまで筑波大学下田臨海実験センターでは平板動物の採集例がなかったものの、センター内複数ヶ所、及びセンター近くの海域から発見することに成功した。安定した採集手法も確立でき、その手法を用いた年間を通じた採集から、下田産平板動物の個体数には季節的変動があることが判明した。これらのことから、発現遺伝子の季節的変動の追跡等の実験的手法が可能になり、今後の平板動物研究の基礎となる成果が得られた。採集した個体は研究室で長期飼育しており、飼育下での補食、分裂の観察にも成功している。さらに、下田で採集された個体の分子系統学的解析を行ったところ、これまで日本で報告されていないグループに属すること、及び複数グループが下田に生息することが明らかになった。また、その繁殖サイクルや個体発生過程に関する予備的な結果が得られており、解析が進行中である。



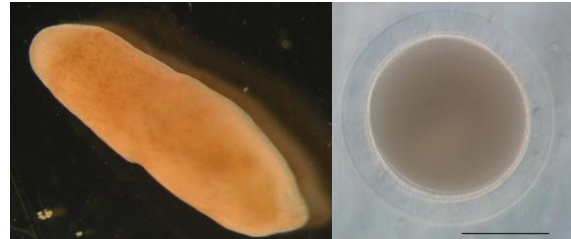
左：下田で採集された平板動物

右：飼育下で観察された平板動物の分裂

#### (2) 珍渦虫に関して

珍渦虫についてはその系統学的位置が長く不明であり、新口動物の一員であるという「新口動物説」と、左右相称動物の中で最初に分岐した無腸類と近縁であるという「無腸類説」の2つの説のうちどちらが正しいのか、結論が出ていなかった。私は共同研究者とともに無腸類と珍渦虫から分子的なデータを集積し、改めて分子系統解析を行った。その結果、珍渦虫と無腸類は新口動物の中で互いに近縁なグループを形成し、そのグループは水腔動物（棘皮動物と半索動物）と姉妹群を形成することを発見した。珍渦虫が新口動物の一員であることがより明確になったことで、今後は珍渦虫の発生や進化の研究を行うことで、我々人間を含む新口動物の進化過程に関する新たな知見が得られることが期待される。また、珍渦虫の成熟精子の電子顕微鏡による微細構造の観察も行った。その精子は環形動物や棘皮動物など動物界に広く見

られる、後生動物にとって祖先的と思われる形態をしており、この精子形態から珍渦虫は体外受精を行うことが推測された。さらに、珍渦虫胚を透過型電子顕微鏡で観察し、他の動物の発生様式と比較することで、後生動物・新口動物の幼生型の進化についての新たな知見が得られている。



左：珍渦虫；右：珍渦虫の成熟卵

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

1. 中野裕昭. ないない尽くしの謎の動物 珍渦虫の進化と系統. **生物の科学 遺伝**. 65:74-79 (2011) 査読無
2. 中野裕昭. 無腸類と珍渦虫の系統学的位置. **うみうし通信**. 71:2-4 (2011) 査読無
3. Philippe H., Brinkmann H., Copley R. R., Moroz L. L., Nakano H., Poustka A. J., Wallberg A., Peterson K. J. & Telford M. J. Acoelomorph flatworms are deuterostomes related to *Xenoturbella*. **Nature**. 470:255-258 (2011) 査読有
4. Obst M., Nakano H., Burlat S. J., Thorndyke M. C., Telford M. J., Nyengaard J. R. & Funch P. Spermatozoon ultrastructure of *Xenoturbella bocki* (Westblad 1949). **Acta Zoologica** 92:109-115 (2011) 査読有

[学会発表] (計6件)

1. 中野裕昭. 珍渦虫と無腸類は本当に新口動物なのか? 日本動物学会第64回関東支部大会. 2012年3月17日 東邦大学習志野キャンパス
2. 中野裕昭. 平板動物と無腸類と珍渦虫～珍しい原始的な動物たち. 平成23年度日本動物学会関東支部企画公開ビデオ講演会. 2011年11月19日 東京大学本郷キャンパス
3. Nakano H., Lundin K., Obst M. & Funch P. Development and larval morphology of *Xenoturbella*- Do developmental data support Xenacoelomorpha? Xenacoelomorpha Genome Project Meeting. 2011年11月19日 Max

Planck Institute for Molecular Genetics, ベルリン, ドイツ

4. 中野裕昭. 筑波大学下田臨海実験センターで発見された平板動物の報告. 日本動物学会第82回大会. 2011年9月22日 旭川大雪アリーナ
5. Obst M., Lundin K., Nakano H. & Funch P. Larval morphology of *Xenoturbella bocki*. 2<sup>nd</sup> International Congress on Invertebrate Morphology. 2011年6月20日 Harvard University, ケンブリッジ, USA
6. 中野裕昭. 珍渦虫 *Xenoturbella bocki* の系統と進化. 日本動物学会第81回大会. 2010年9月23日 東京大学駒場キャンパス

[図書] (計1件)

1. 中野裕昭. 共立出版 日本進化学会編 進化学事典 (2012) 総ページ数 996 ページ (珍渦虫動物門 301-303 ページを執筆)

[その他]

ホームページ

<https://sites.google.com/site/hiroakinkanolab/home>

<http://www.tsukuba.ac.jp/public/press/110214.pdf>

報道関連情報

2011年2月に英科学誌「Nature」に掲載された論文(雑誌論文欄の3番、Acoelomorph flatworms are deuterostomes related to *Xenoturbella*)に関する記事がアメリカの4大テレビネットワークのCBS、NBC、FOXのホームページやドイツ最大の経済新聞Handelsblattに掲載された。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中野 裕昭 (NAKANO HIROAKI)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：70586403