Bioassays Using Marine Sessile Organisms

By Kiyotaka Matsumura

Marine-fouling organisms, such as barnacles and mussels, cause serious problems by settling on ship hulls and submerged artificial structures in addition to natural habitats. To develop novel antifouling technologies, including new antifouling paints, bioassays are indispensable for assessing the efficacy of these technologies and their environmental impacts. Since biofouling is a complicated biological event, it is difficult to conduct biofouling assays without using fouling organisms. Although detailed genetic information on most of the fouling organisms is unknown and methods to use these organisms for lab-experiments have not been well established, the intertidal barnacle *Amphibalanus amphitrite* is thought to be a model creature for larval settlement assays to investigate settlement mechanisms and antifouling technologies. This review describes bioassays using sessile organisms such as *A. amphitrite* conducted for my studies on barnacle larval settlement and the development of antifouling paints.

1. はじめに

フジツボなど海洋付着生物の一部は、天然の生息地に加えて船底や海中の人工構造物に付着して人間の社会活動に影響を及ぼすことから汚損生物と呼ばれている。特に船舶への汚損生物の付着を抑制するために、人類は紀元前の時代から様々な対策を講じてきた。近年では、1970年代から船底防汚塗料成分の主流となっていた有機スズ化合物の環境影響が20世紀末に懸念されるようになり、2008年にはIMO（国際海事機関）によりその使用が完全禁止された¹⁾。そこで、現在世界中で新規防汚剤の開発が進められている。防汚剤の効力や環境影響を調べるためには、バイオアッセイが欠かせない。生物付着自体が生体反応で、そのメカニズムは複雑なため、現時点では生物を使わない検定は難しい。環境影響を最小限に抑えつつ付着を阻害する化学物質を探索するためには、付着生物を用いたバイオアッセイは不可欠といえる。

バイオアッセイは基本的には、簡便、迅速、経済的で、かつ客観性を持つ正確なデータが得られるように工夫する必要があるが、それぞれの目的に応じて何を重要視するかは変わってくる。一般的には、例えばある化学物質の環境影響評価をする際の毒性試験には特定の（共通した）生物を用いることで他の物質との活

性比較ができるので、モデル化された生物が使われることが多い。しかし、汚損性付着生物のほとんどは、センチュウ、ゼブラフィッシュ、マウスのようなモデル生物とは違い、遺伝的な背景を揃えることが困難であり、その入手、飼育、管理も一般的には難しい。最近では、そのような多様な付着生物の中から準モデル生物の選定が必要になってきている。フジツボにおいては世界中の亜熱帯、温帯の潮間帯に広く分布するタテジマフジツボ *Amphibalanus amphitrite* がその有力な候補である。

ここでは生物学的応答を利用した基礎的な研究も含めた最近の関連研究を紹介したい。著者自身は、長年フジツボ幼生の着生（付着および変態、図1）に関する研究を続けており、特に同種フジツボの群居成立に関わる要因を解析してきた。その中で、タテジマフジツボ幼生の着生を誘起する同種成体由来の化学シグナル（フェロモン）と視覚シグナルの探索をする際に、それぞれの目的に応じたアッセイ法を活用してきた。

図1 フジツボ幼生の着生（付着・変態）過程
一定期間遊泳したキプリス幼生（A）は、付着基質となる基板表面で探索行動をするようになり（B）、付着・変態（C、D）をへて、幼体（稚フジツボ）となる（E）。

*原稿受付 令和元年 8 月 28 日。

**正会員 北里大学海洋生命科学部(相模京市南区北里1-15-1)

本技術資料においては、前半はバイオアッセイ（生物試験）を利用したフジツボ幼生の着生機構の研究を紹介し、後半では特に防汚剤開発に向けたフジツボ、イガイといった海洋付着生物を用いたバイオアッセイの現状をまとめてみる。

なお、海洋環境の評価や管理におけるバイオアッセイ、毒性試験についてはすぐれた解説^{2,3)}があるので、それらを参照されたい。また、フジツボの着生に関する概要は、著者が以前に執筆した本学会誌での解説など^{4,5)}を参照されたい。

2. 海洋付着生物の着生機構研究におけるバイオアッセイ

2.1 フジツボ付着期幼生の入手

ほとんどフジツボは、交尾による体内受精をして親の体内で発生を進め、遊泳性のノープリウス幼生を孵出する。ノープリウス幼生は植物プランクトンを主な餌として成長し、6回の脱皮をした後、摂餌しないキブリス幼生に変態する。キブリス幼生は、着生場所を探索するために特化した付着期幼生であり、遊泳後に一對の第一触角を使って基板上を探索し、適切な着生場所を見つけるとその場所でセメント物質を分泌して付着し、変態して幼体になる。着生後は基本的には固着生活を送り、移動することはない。

そこで、幼生の付着・変態（着生）のメカニズムを調べるためにはキブリス幼生を用いる必要がある。キブリス幼生の入手には、自然海域から目的のフジツボ種のキブリス幼生を採集するか、実験室内で成体から幼生を孵出させて幼生を飼育してキブリス幼生を得ることになる。ただ、自然海域から同一種のキブリス幼生を大量に採集することは通常は困難であり、さらに限られた時期にしか採集できない場合が多い。そこで現在では、特定種のフジツボ成体を採取し、実験室内で飼育、幼生孵出の誘導、培養された植物プランクトンを餌として与えてキブリス幼生まで飼育することで、着生研究、バイオアッセイに供されることがほとんどである。特にタテジマフジツボ *Amphibalanus amphitrite* とヨーロッパフジツボ *Amphibalanus improvisus* の幼生飼育法が確立されており、周年キブリス幼生が得られるようになっている。日本ではタテジマフジツボが着生研究に広く使われている。

2.2 フジツボの着生誘起フェロモン研究

2.2.1 フジツボ着生誘起物質研究の始まり

フジツボは、船底、発電所の取水口など海中構造物、さらには漁網などに付着する代表的な汚損生物であるが、その群居性という生態的特性が汚損性と深く関わ

っていると考えられる。1950年代から、成体由来の化学物質が同種幼生の着生（付着・変態）を誘起することが同種個体の群居成立に関わっていると考えられてきた。当時のフジツボ研究の中心の一つであった英国北ウェールズ大学の Crisp らのグループは、北大西洋岸に分布するフジツボ *Semibalanus balanoides* と、地元で産出されるスレート板も用いたアッセイで、成体抽出液を塗布した部分にキブリス幼生が特異的に着生することを観察した（図2）。彼らの精力的な研究により、同種成体中に存在する熱処理で失活しない糖タンパク質（当時は arthropodin と呼ばれた）が活性本体であると考えられた。なお、この活性物質は付着基板に塗布した場合に活性を有し、基板吸着性の着生誘起物質と考えられた⁶⁾。

図2 スレート板を用いたフジツボ着生誘起アッセイ。

(A) 実験に用いられたフジツボ *Semibalanus balanoides*。

(B) スレートの付着板による着生アッセイの結果（左のスレート板の成体抽出液が塗布されている窪み周辺に付着しているフジツボが観察される）。

また、彼らは様々な海産生物の抽出液のフジツボ幼生着生誘起活性を調べたところフジツボ以外の生物にはほとんど活性が認められなかったが、興味深いことに底生魚ギンポの一種の抽出液に活性が確認された。実はこのギンポはフジツボを餌としており、その体内に取り込まれたフジツボのタンパク質が着生誘起活性に関わっていたのではないかと考えられた。すなわち、このタンパク質性活性物質は、比較的安定で分解しづらい性質を持っていると思われたが、当時はタンパク質分析の技術的な問題もあり、その構造の詳細については未解明であった。さらに、英国で当時用いられた研究材料のフジツボ *Semibalanus balanoides* では、実海域（北ウェールズのメナイブリッジ周辺）から採集したキブリス幼生を用いていたため、1年のうち限られた時期（5月の1-2週間）しかアッセイができないという問題点もあったと思われる。当時はこの限ら

れた期間に精力的に研究が進められ、幼生行動に関する数多くの成果が出された。

2.2.2 基盤吸着性着生フェロモン SIPC

1970-80年代には散発的にこの基盤吸着性着生誘起物質 (arthropodin) に関する研究が発表されたが、その分子構造ははっきりしなかった。1990年代になり、筆者らは幼生の室内飼育が可能となったタテジマフジツボを用いて着生誘起活性物質の単離精製を試みた。そこでまず、活性を適切に判定するためのバイオアッセイ法の開発を試みた。それまでに、別種ではあるが *Semibalanus balanoides* におけるキプリス幼生の着生誘起活性の本体がタンパク質性の物質であり、糖タンパク質の可能性が示唆されていた。しかしスレート板などを基質とした着生アッセイでは、塗布された試験サンプルが海水中に流出していく可能性があり、定量的なアッセイは難しいと考えられた。そこで、タンパク質の吸着能に優れ、ウェスタンブロッティングなどに用いられていたニトロセルロース膜にサンプルを吸着させて付着基質として利用することを思いついた (図3)。このニトロセルロース膜アッセイ法によるフジツボ成体タンパク質の定量的活性測定はうまく機能し、最終的にはタテジマフジツボ成体から着生誘起タンパク質複合体 Settlement-Inducing Protein Complex (SIPC) と名付けられた糖タンパク質の精製に成功した⁷⁾。その後、SIPC 遺伝子のクローニングと配列決定、その機能解析、分子進化などについて様々な研究が実施され、SIPC 研究は海洋付着生物の幼生着生機構研究の発展に寄与している。

図3 ニトロセルロース膜を用いた基盤吸着性フェロモンアッセイ。(A) 改良型ドットプロット装置によるタンパク質性サンプルの吸着。(B) 多数のサンプルを吸着させたニトロセルロース膜に付着したフジツボ幼体を示す (No.6, 7, 8のサンプルに着生誘起活性があると判定された)。

2.2.3 拡散性着生フェロモン WSP

SIPC のような基盤吸着性着生誘起物質とは別に、フジツボ成体由来で海水中に拡散し、遊泳中のキプリス幼生が着生行動に移行するのを誘起する拡散性着生誘起物質の存在は以前から考えられていたが、その正体が最近明らかになってきた。ここにおいても、拡散性活性物質を調べるためのバイオアッセイ法を工夫する必要がある。私たちは寒天ゲルを用いることとした。具体的には、寒天中に試験サンプルを溶解してゲル化し、シャーレの蓋に固定することで、海水中に徐々に拡散するよう工夫して、拡散性フェロモンの活性を測定した (図4)。その結果、タテジマフジツボ成体より分子量約 32kDa の拡散性フェロモン Waterbourne Settlement Pheromone (WSP) を精製することに成功した⁸⁾。WSP 遺伝子についても研究が進行中である。

図4 寒天ゲルを用いた拡散性フェロモンアッセイ。(A) シャーレの蓋にサンプルを含む寒天ゲルを固定したアッセイシステム。(B) アッセイ後、付着したフジツボ幼体の位置 (WSP を含む寒天ゲルの周辺に多数の付着が確認できる)。

2.3 フジツボの着生に関わる視覚シグナルの研究

上に述べてきたフェロモン (化学シグナル) は、流れのある海中では限られた範囲でしか機能しない可能性があり、実際にフィールド実験の結果より、発生源である成体のごく近傍でのみ機能しているという報告がある。さらにフジツボ幼生の眼の発生は独特であり、付着期 (実際にはノープリウスVI期後半とキプリス幼生期) にのみ複眼を持つことが知られている。そこで、着生場所の選定に視覚を使っている可能性を考えて、以下のようなアッセイを考案した。すなわち、透明のプラスチック容器に成体を数個体収容し、2個のフジツボを含まない容器とともにチャンバー中に設置し、キプリス幼生が隔離された成体由来の化学シグナルに接触できない状態でインキュベートした。上部より光を照射して48時間後にチャンバーのどこに幼生が付着したかを観察した (図5)。このアッセイにより、成体由来のフェロモン (化学物質) のシグナルを遮断しても、キプリス幼生は同種成体を認識してその

周辺に付着する傾向があることが判明した。この結果は、幼生視覚が同種成体の識別に関与していることを示唆する。さらにフジツボ成体の殻は赤色蛍光を発しており、殻から抽出された蛍光物質にもキブリス幼生を誘引する効果が認められたことから、この赤色蛍光が視覚シグナルになっていることが考えられる^{9,10)}。

図5 幼生着生における視覚シグナルの関与を調べるためのキブリス着生アッセイの概要。

2.4 フジツボの着生に至る幼生内のシグナル伝達研究

フジツボ幼生の着生には、化学シグナルとしての着生フェロモン、視覚シグナルとしての蛍光物質が関わっていることは述べたが、それらの着生シグナルを受容したキブリス幼生はどのように着生して固着生活に至るのかを調べることも重要である。様々な薬品で処理したキブリス幼生の着生行動に対する反応を観察することで、着生の分子機構解明のヒントが得られる。これらのアッセイでは、ポリスチレン製のシャーレやマルチウェルプレート（6, 12, 24 ウェルプレートがよく使われる）を用いて継時的に観察が行われる（図6）。幼生着生行動に与える影響、例えば、付着を阻害するのか、探索行動を阻害するのか、毒性はないのか、といったことを詳細に調べることで、その作用機序が推定できる。これまでに様々な情報伝達分子が幼生着生に関与していることが示されてきた。こういったアッセイで着生関連分子や着生メカニズムを推測し、さらに分子生物学的、生理学的手法を駆使して分子機構の詳細を解明するための研究が進められている。これらの基礎研究を通じて得られた知見は、環境に優しい防汚対策への応用が期待されている^{4,11)}。

図6 ポリスチレン製 12 ウェルプレートを用いたキブリス着生アッセイの概要

3. 防汚技術開発における海洋付着生物を用いたバイオアッセイ

3.1 フジツボキブリス幼生を用いた着生阻害試験

これまで述べたように、フジツボキブリス幼生の着生機構の解明には様々な幼生着生アッセイが利用されてきたが、フジツボは主要な汚損生物であることから防汚剤開発にもキブリス幼生着生アッセイは広く利用されている。一般的には、マルチウェルプレート（図6）の底面に一定量の防汚剤の候補化学物質を塗布して、海水中にキブリス幼生を収容し、一定時間（24～72時間）インキュベートした後に観察することで、化学物質のフジツボキブリス幼生着生阻害活性を判定する。通常は一定時間後のキブリス幼生の状態を観察し、遊泳率、着生率（付着率、変態率）、死亡率などを計測することで、各化学物質の毒性（ LC_{50} ：50%致死濃度）と防汚効果（ EC_{50} ：50%付着阻害濃度）を判定する。環境負荷をかけない防汚剤としては、毒性が低く、防汚効果の高い物質が求められ、このような着生阻害試験によって貴重な情報が得られる。

フジツボ幼生着生アッセイを利用した防汚剤開発に向けての具体的な研究については、海洋生物由来の天然化合物からの防汚物質探索やそれらをリード化合物とした新規付着阻害物質の創製に関する総説などを参照されたい^{12,13)}。

3.2 フジツボ以外の付着生物を用いた付着阻害試験

フジツボ以外にもムラサキイガイ、ヒドロ虫、ホヤ、コケムシなど様々な汚損性付着生物が、船底、漁網、海中構造物に付着して被害を与えている。これらの生物の付着はフジツボと共通のメカニズム以外に、種特異的なメカニズムも有していると考えられる。そこで、防汚対策に繋げるためにはフジツボ以外の生物を利用したアッセイも必要になる。しかし残念ながら、現状ではアッセイ法が確立して体系的に防汚技術開発に利用されているものは少ない。フジツボとともに汚損性付着生物として重要なイガイ類は、フジツボとは異なり、その成体は先端に強い接着物質を持つ足糸を分泌して基板に付着している。イガイ幼生が一旦付着した後も、剥離してこの足糸を分泌することで再付着することができる。イガイの幼生を飼育し、付着期のペディベリジャー幼生を得るには一般的に長期間を有し困難な場合が多いことから、成体（通常は小型の個体）を用いて、サンプルを塗布したプレート上に足糸を分泌して固着するかどうかを判定するアッセイ法が考案されている。例えば、図7のように特殊なボール紙（Webron®）で作成した試験プレートのある領域に試験サンプル（防汚剤候補化学物質など）を塗布し、その周囲にムラサキイガイをゴム片、無毒性接着剤など

で固定し、一定時間後に足糸の様子を観察することで、サンプルに付着忌避効果があるかどうかを判定することができる。サンプルに付着忌避物質が含まれる場合は、サンプル塗布領域を避けて足糸を伸ばし、毒性があれば足糸形成自体が阻害されると考えられる¹⁴⁾。

図7 ムラサキイガイ稚貝を用いた付着アッセイ (1)

一方、アッセイ中のイガイが移動できるようにしたアッセイ法も考案されている (図8)。すなわち、試験プレート (Webron®) の中に穴を開けて、ムラサキイガイが足糸で付着できない寒天を敷き、その上に稚貝をのせ、一定時間後に稚貝の移動と足糸形成と付着の様子を観察する方法である。この方法では、対照区では寒天上から付着可能な基質である試験プレート上に移動し足糸を分泌して付着するが、サンプルが塗布された処理区では、毒性や付着忌避活性がある場合は、移動せず寒天上に留まるか、移動しても足糸形成が観察されないと考えられる。アッセイ後にイガイの状態を調べることでサンプルに毒性があるのか、付着忌避活性のみが存在するのかを確かめることができる¹⁵⁾。

以上のようなイガイの稚貝を用いた付着忌避アッセイは、実海域で幼生が基板に付着する状況を完全に反映しているわけではないが、比較的簡便に実施できることから防汚活性の判定には有用である。

図8 ムラサキイガイ稚貝を用いた付着アッセイ (2)

3.3 防汚性能を評価するためのバイオアッセイ

3.3.1 防汚剤開発における性能評価の必要性

有機スズ化合物の船底防汚塗料への使用が2008年に禁止になって以降、世界中で代替防汚剤の開発が進められている。一方、船舶を介した外来種の移入に伴い、移入先の海洋生態系への影響が懸念されてきている。船舶を介する移入のうち、バラスト水に含まれる

微生物 (特に病原性微生物) や海洋生物幼生の移動が問題となり、国際的な議論が進められ、対応策や規制についても提案されてきている。さらに最近では、船体付着による外来付着生物の移入と定着も問題視され、国際的な関心が高まっている。こういった現状を踏まえると、船底防汚塗料の開発においては、海洋に流出する際の環境影響に配慮するとともに、防汚性能、すなわち汚損生物の付着をいかに効率よく抑制できるかを正しく、簡便に判定することが必要になる。

これまででは、防汚剤候補の試験薬剤を塩ビ板などに塗布した、いわゆる付着板を実海域に垂下して一定期間 (数ヶ月) 浸漬した後に回収し、付着した生物を観察することで防汚性能を評価するのが常であった。しかし、このフィールド試験は、時間がかかること、海域、季節による付着生物相の傾向が異なること、など問題点が多い。そこで、試験サンプルの防汚性能を客観的に評価するために、実験室内でのアッセイ法の確立が求められている。

3.3.2 塗料の防汚性能評価アッセイ

3.1 および 3.2 で述べたフジツボキブリス幼生やイガイの稚貝を用いた防汚剤開発のための付着阻害アッセイ法は、基本的には実験室内で様々なサンプルの付着忌避活性の判定には有効であるが、防汚塗料の実海域での防汚性能を正確に判定するためにはさらに工夫が必要である。一般に防汚塗料は、汚損生物の付着を防止するために防汚剤を海水中に有効に溶出させ、かつ樹脂を溶解させる必要があり、さらにその機能を長期にわたって維持・継続させることが重要である¹⁶⁾。よって、防汚塗料の防汚性能の評価は、実海域での船舶の航行を模倣し、防汚剤が試験海水中に蓄積されないように流水条件下で実施することが好ましい。そこで最近、防汚性能評価試験法の確立を目指し、ムラサキイガイやタテジマフジツボといった汚損生物を用いた流水条件下のバイオアッセイ法が開発されてきている。まず、防汚剤含有試験片として各濃度の亜酸化銅を含む塗料を塗布した塩ビ板 (5 cm 四方) を回転式ドラムに設置して天然海水を流しながら45日間回転することで、実海域での船舶の航行を模倣して試験片が養生された。養生は防汚剤が安定的に溶出する状況を再現するために実施された。養生後の試験片は室内における流水条件下でのアッセイに供された。

ムラサキイガイアッセイにおいては、基本的には前述 (図7) の方法に準じ、稚貝を試験片の表面に無毒性の接着剤で固定し、チャンバー中に収容して、ペリスタポンプで新鮮な濾過海水を14 ml/分の流速で流し、24時間後に観察して形成された足糸数を計測する方法で防汚性能が判定された。その結果、一定濃度以上の亜酸化銅を含む試験片では足糸形成が顕著に阻害さ

れることが判明し、このアッセイ法の有効性が確認された¹⁷⁾。

一方、同様の試験片を用いたタゲジマフジツボキブリス幼生の着生アッセイは、システムを設定するのに工夫が必要であった。遊泳しているサイズが1 mm以下の幼生を流水条件においてアッセイチャンバー内に保持するために、図9のようなシステムが考案された。すなわち、1枚の試験片と2枚の亚克力板で三角錐を組み立て、その底面にプランクトンネットを固定して、幼生をこの三角錐の中に収容すると内部に保持され、かつ上部から新鮮な海水が注がれるようなアッセイシステムである。なお、平滑な亚克力板上にはキブリス幼生が付着することはなかったため、試験片上に着生した個体を観察することで、着生阻害活性すなわち防汚性能を判定することができる。実際には、このシステムで7 ml/分の流水条件で48時間インキュベートした後観察した結果、ムラサキイガイでのアッセイと同様に、試験片上における幼生付着は、塗料に一定濃度以上亜酸化銅が含まれた場合は顕著に阻害された。さらに流水条件であるため、止水条件で問題となる試験海水中における防汚剤の蓄積も抑えられ、このアッセイ法が防汚性能評価に有効であることが示された¹⁸⁾。

図9 フジツボキブリス幼生を用いた防汚性能評価のための流水条件下での着生アッセイの概要

4. まとめと展望

一般的にバイオアッセイは生物を利用し、生物学的な応答を指標にして、化学物質などの毒性や環境影響を調べることを目的にしている場合が多い。その場合は特定のモデル生物の応答を調べることで、様々な対象物質の毒性などを比較検討することが可能である。一方ここでは海洋付着生物を用いたバイオアッセイが基礎研究や防汚技術開発にどのように利用されているかを概説した。海洋付着生物幼生の着生機構解明、防汚剤の開発や性能評価という目的のためには、毒性試験だけでは得られない情報を、いかに客観的に、そし

て正確に得られるかが問題となる。ここで紹介した数々のバイオアッセイは、それぞれの生物を深く理解した上で、何を目的とするアッセイかを明確にすることで考案されたものである。

前述したように、海洋生物の付着は複雑な生物現象であり、現在のところ、その分析や評価をするためにはバイオアッセイが欠かせない。しかし将来的には、例えば付着現象に直接関わる特異的な遺伝子群が特定され、それらの機能が解明された場合、防汚剤候補物質を処理した際のそれらの遺伝子の発現解析をすることで防汚性能の評価が可能になるかもしれない。今後、さらに客観的で正確な評価法の開発が望まれる。

参考文献

- 1) 千田, 日マリ学誌, 40-1 (2005), 4-6.
- 2) 柏田, 安全工学, 45-5 (2006), 319-327.
- 3) 楠井, 安全工学, 45-6 (2006), 408-414.
- 4) 松村, フジツボ類の再新学 (2006), 142-167. 恒星社厚生閣
- 5) 松村, 日マリ学誌, 45-3 (2010), 48-52.
- 6) D.J. Crisp and P.S. Meadows, Proc. R. Soc. B, 156 (1962), 500-520.
- 7) K. Matsumura et al., J. Exp. Zool., 281 (1998), 12-20.
- 8) N. Endo et al., Biofouling, 25 (2009), 429-434.
- 9) K. Matsumura and P.Y. Qian, J. Exp. Biol., 217 (2014), 743-750.
- 10) 松村, 日マリ学誌, 49-4 (2014), 83-86.
- 11) 松村, 日マリ学誌, 42-2 (2007), 59-64.
- 12) 北野・野方, フジツボ類の再新学 (2006), 225-246. 恒星社厚生閣
- 13) 北野, 化学と生物, 57-6 (2019), 352-358.
- 14) 伊奈・衛藤, 化学と生物, 28-2 (1990), 132-138.
- 15) F. Kitajima et al., Fisheries Science, 61-4 (1995), 578-583.
- 16) 高橋, 日マリ学誌, 45-4 (2010), 118-123.
- 17) Kojima et al., Plos One, 11-12 (2016), e0168172.
- 18) Kojima et al., Coatings, 9-2 (2019), 112.

著者紹介

- 松村 清隆
- ・日本マリンエンジニアリング学会 正会員
 - ・1956年生。
 - ・所属：北里大学海洋生命科学部
 - ・最終学歴：北海道大学大学院理学研究科 博士(理学)
 - ・専門分野：海洋生物学, 分子生物学, 生化学