

有毒プランクトンの防除に向けた微生物農薬の開発

東北大学大学院農学研究科 准教授

西谷 豪

大阪府立環境農林水産総合研究所

山本 圭吾, 中嶋 昌紀

元北里大学海洋生命科学部

山口 峰生

1. はじめに

近年の急激な人口増加に伴い、世界の水産物需要は増加し続けている。マガキやホタテガイ等の二枚貝養殖は、魚類養殖とは異なり給餌が不要であるため、環境に優しい持続可能な水産業として注目されている。しかし、餌となる植物プランクトンのうち、有毒種が海水中に増加すると、二枚貝がその毒を蓄積し、貝毒の原因となる。貝毒はヒトの健康被害のみならず、出荷規制によって水産業にも重大な被害を及ぼしている。日本沿岸域では、2012年頃から全国的に麻痺性貝毒の発生件数が右肩上がり増加している。

大阪湾では、2002年に初めて麻痺性貝毒が確認されて以降、ほぼ毎年のように発生している。特に2018年には大阪湾を含めた東部瀬戸内海で麻痺性貝毒が大規模に発生し、長期にわたる二枚貝の出荷停止のため、漁業に大きな被害を与えた。大阪湾での貝毒原因種は、アレキサンドリウム (*Alexandrium catenella*, group1) という渦鞭毛藻であるが、その発生を制御する手段は得られていない。そのような状況のなか、2019年に私たちの研究グループは、麻痺性貝毒の原因プランクトンに寄生して殺滅する寄生生物 (*Amoebophrya* sp.) を日本で初めて大阪湾から発見し、研究室で維持・培養することに成功した。

本研究では、(1) この寄生生物の分類学的位置を DNA で精査し、その正体が寄生性渦鞭毛藻の一種 *Amoebophrya* であること、(2) 室内培養において、最大 98% のアレキサンドリウムに感染し、その後、数日以内に死滅させること、(3) 室内培養において、様々な宿主に対する感染実験を行ない、この寄生生物が他の無害なプランクトンには寄生しないこと、(4) 室内培養において、塩分が寄生率に大きく影響を与えていること、(5) 大阪湾現場調査において、最大時には 7 割以上のアレキサンドリウムが寄生生物に感染していること、(6) 大阪湾現場調査において、寄生生物がアレキサンドリウムのシスト内にも存在していること等を明らかにした。今後さらに寄生生物の生態や増殖生理、宿主との関係性を明らかにすることによって、現場海域でのアレキサンドリウムのブルームの規模や収束時期を予測することに貢献できる可能性がある。以下、本研究で得られた成果の一部について、記載する。

2. 材料と方法

2.1 室内培養実験

培養条件下において、アレキサンドリウムが寄生生物によって寄生される様子を顕微鏡下にて観察した。また、宿主範囲を調べるため、13種の渦鞭毛藻と1種のラフィド藻を宿主として寄生生物との二者培養を行い、寄生の有無を確認した。

2.2 現場調査

アレキサンドリウムと寄生生物との寄生関係が、実際の現場海域においても生じていることを確かめるため、2020年2月から4月にかけて、大阪湾内の調査定点において柱状採水を実施した。水温や塩分等の

環境項目を測定し、試水中のアレキサンドリウム細胞密度を計数した。また、蛍光顕微鏡観察により、寄生生物による寄生率(%)を測定した。

3. 結果と考察

図 1 は培養下において、寄生生物がアレキサンドリウムに寄生する様子を撮影したものである。通常光による写真(明るい背景)と特殊な励起光をあてた際の蛍光写真(黒い背景)を示す。蛍光写真で赤く見えるのは宿主(アレキサンドリウム)の葉緑体、緑が寄生生物の自家蛍光を示す。A・Bは寄生が起こっていないアレキサンドリウムであり、C・Dでは、宿主の周りに1細胞の寄生生物が付着しているのが分かる。この1細胞の寄生生物が、宿主の細胞内に侵入し、宿主の栄養を利用して爆発的に増殖する。E・Fは感染初期を示し、寄生生物が宿主の細胞内で数十細胞にまで増殖したことにより、緑色の蛍光部分が拡大している。G・Hは感染中期、I・Jは感染後期を示す。宿主の細胞内で数百細胞まで増殖した寄生生物は、最終的に宿主の細胞を突き破り、細胞外へと出ていく(K・L)。その後、数百細胞の寄生生物が水中に分散し、次の宿主を求めて泳ぎ出す。この一連のサイクルが、2-3日で完結することが明らかとなった。

寄生率は培養条件によって異なるが、最大 98%のアレキサンドリウムに寄生することが可能であり、高い殺藻能力を示した(図 2)。図 2 の右のフラスコは、アレキサンドリウムを単独で培養し、2週間が経過したものを示す。アレキサンドリウムの大量増殖によって、培養液が茶色く濁っている。一方、左のフラスコは、右と同時期・同条件下でアレキサンドリウムを培養し、さらにごく少量の寄生生物を添加したものである。寄生生物によって、ほとんどのアレキサンドリウムが死滅していることが、培養液の透明色からうかがえる。このように、寄生生物に新しい宿主を定期的に与え、植え継いでいくことによって、研究室内で長期にわたり寄生生物を維持することが可能になった。

また、実際の現場海域において調査した例を図 3 に示す。2020年、大阪湾では3月23日にアレキサンドリウムの密度が最大になった。その翌週、寄生生物による感染率が急上昇し(最大 73%)、アレキサンドリウムの密度は急速に減少した。感染したアレキサンドリ

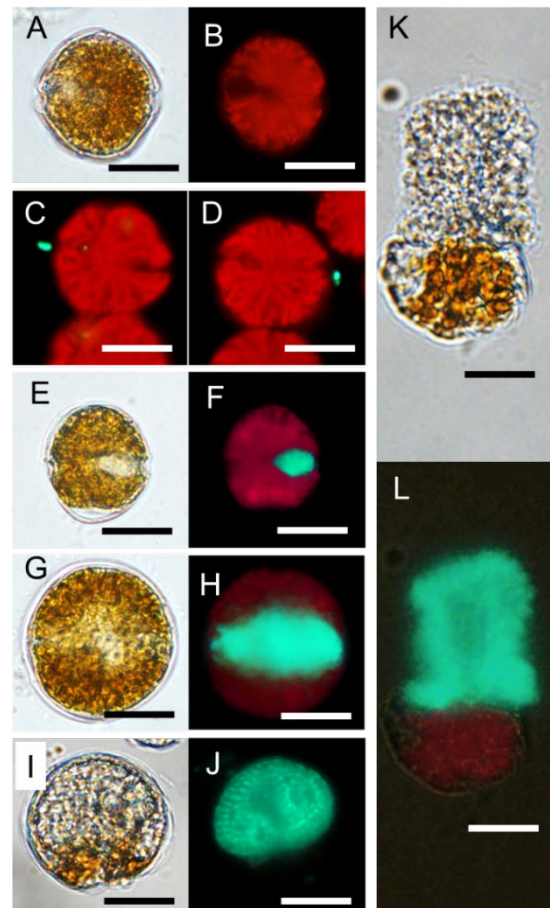


図 1 アレキサンドリウムへの寄生の様子



図 2 寄生生物の添加あり(左)となし(右)

ウムは、数日以内に死滅するため、実験室内だけでなく、実際の現場海域においても、この寄生生物がアレキサンドリウムのブルーム規模や収束に大きく影響していることが示唆された。

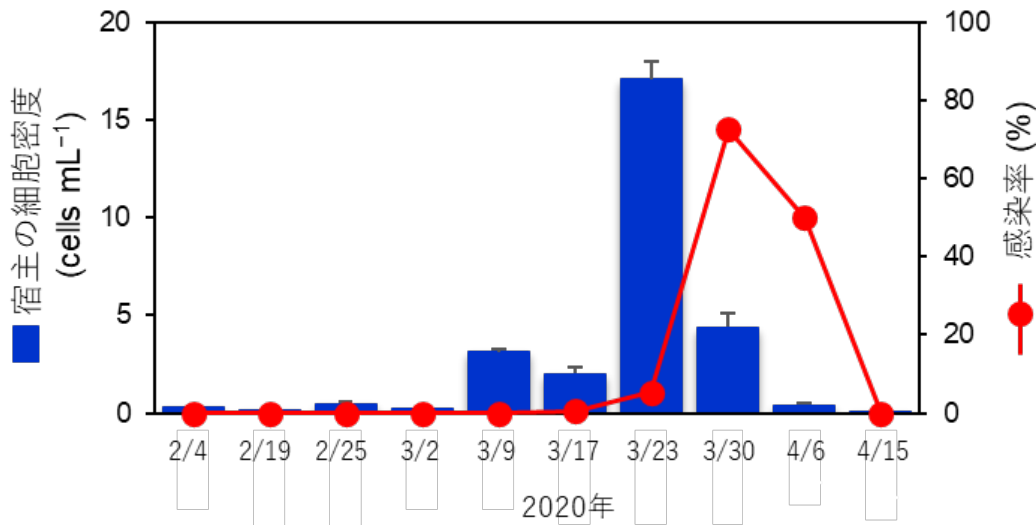


図 3 大阪湾調査定点におけるアレキサンドリウムの細胞密度(左軸:棒グラフ)と寄生生物による感染率(右軸:折れ線グラフ)の推移

4. 今後の展望

室内培養および現場観察によって、この寄生生物の宿主範囲を詳しく調べたところ、この寄生生物は特定の有毒プランクトンだけに寄生し、珪藻など他の無害なプランクトンには一切寄生しないことが判明した。このことは、水中の生態系に重大な影響を及ぼさない安全な「微生物農薬」として、この寄生生物を他の海域に導入できる可能性を示している。そのため、我々は現在、この寄生生物を安定的に長期保存する方法の開発に着手している。実際の現場海域へ導入することを想定し、寄生生物の大量生産と保存に関する技術は、重要な検討事項の一つである。

また、麻痺性貝毒は全国で発生しているが、我々が発見した寄生生物は今のところ、大阪湾でのみ見つかっている。同じく麻痺性貝毒が頻発する宮城県沿岸でも寄生生物の調査を行っているが、まだその存在は確認されていない。この寄生生物がなぜ大阪湾だけに存在するのか、そしていつから大阪湾に存在していたのかは、学術的に興味深い内容である。我々は最近、海水や底泥中から寄生生物の DNA を検出する手法を確立した。大阪湾で過去に採取された底泥サンプルや、日本全国の沿岸域から採取された底泥サンプルを解析することによって、寄生生物の多様性や分布実態が明らかになると期待される。

最終的には、大阪湾から発見されたこの寄生生物を「微生物農薬」として、麻痺性貝毒によって深刻な被害を受けている全国の海域に導入し、貝毒の低減や抑制を目指す。また本成果は、有毒種による貝毒の被害低減といった水産養殖業への貢献のみならず、安心安全な潮干狩り等の観光業の発展にも波及していくものと思われる。

成果論文

Nishitani G, Yamamoto K, Nakajima M, Shibata Y, Sato-Okoshi W, Yamaguchi M. A novel parasite strain of *Amoebophrya* sp. infecting the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* (Group I) and its effect on the host bloom in Osaka Bay, Japan. Harmful Algae 110, 102123 (2021)