

修士論文内容の要旨

ふりがな	かくむ あきのり	
氏名	各務 彰記	
専攻名	海洋生物資源科学専攻	
入学年度	平成 28 年 4 月	
指導教員名	主査 今井一郎 特任教授	副査 笠井亮秀 教授 副査 山口 篤 准教授
論文題目	沿岸域における有害赤潮の出現動態 および海底耕耘を活用した赤潮防除に関する研究	

西日本沿岸域では、渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* やラフィド藻 *Chattonella* 属による有害赤潮が頻発し、養殖魚介類を中心に大量斃死を引き起こしている。北海道函館湾においても、2015 年 10 月に北日本初記録となる *K. mikimotoi* 赤潮の発生とそれに伴うスルメイカやシロサケの斃死などの漁業被害が報告された。また最近では、北海道余市沿岸域で *K. mikimotoi* をはじめとする有害赤潮藻類が毎年夏に検出されていることから、対馬暖流による有害赤潮藻類の北方への移送に伴う分布拡大が示唆されている。こうした有害赤潮の発生に対する実用的な解決策は、粘土散布を除き乏しいのが現状である。そこで近年、生物学的防除策として海底耕耘が提案されている。これは、現場の海底泥中に豊富に存在する珪藻類休眠期細胞を有光層に巻き上げ、発芽・増殖させ、水柱の栄養塩消費を通じて有害赤潮藻類の増殖を未然に防ぐという手法である。

本研究では、北海道函館湾における *K. mikimotoi* の出現動態を明らかにするとともに、対馬暖流の分岐海流に当たる津軽暖流域における有害赤潮藻類の分布を調査した。また、広島県福山市沿岸域において、実際に *Chattonella* 赤潮の発生直前に海底耕耘を実施し、発生予防における有効性について検討した。また、現場海水を用いたボトル培養実験も同時に行い、水柱に巻き上げられた珪藻の有効性を検証した。得られた成果は以下のように要約される。

1. 北海道函館湾における有害赤潮渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* の出現動態

函館市国際水産・海洋総合センター岸壁 (Stn. HKK, 水深 10 m) において、2015 年 5 月 28 日 - 2017 年 10 月 19 日の期間、月 1-3 回の頻度で表層、5、9 m 層の各層から採水し、環境要因の測定を行った。*K. mikimotoi* の出現を確認した場合は、消滅まで原則毎週 1 回の調査を行った。また 2016 年 5 - 10 月の間、毎月 1 回海底堆積物を採取し、MPN 法により堆積物中の珪藻類休眠期細胞の密度を推定した。

調査期間中、水温は 5 - 24.5°C、塩分は 29.2 - 34 の範囲で変動した。海底泥中の珪藻類休眠期細胞は

$2.2 \times 10^4 - 1.3 \times 10^5$ MPN g^{-1} wet sediments の範囲で推移した。2015 - 2017 年の連年調査から, *K. mikimotoi* は毎年秋季に出現が確認され, 2015 年は赤潮形成 (最大 $630 \text{ cells mL}^{-1}$), 2016 年は小規模ブルーム ($< 35 \text{ cells mL}^{-1}$), 2017 年はブルーム非形成年 ($< 2 \text{ cells mL}^{-1}$) であった。本湾における *K. mikimotoi* の増殖は珪藻類の細胞密度 $10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 以上と, 水温 10°C によって制限されている可能性が示された。また本種は, 西日本で赤潮を形成した約 2 ヶ月後に函館湾での出現が確認されたことから, 対馬/津軽暖流によって輸送された可能性がある。

2. 津軽暖流域における有害藻類の分布

調査は 2016 年 9 月 26 - 27 日にかけて行い, 津軽暖流域の松前半島沿岸の 24 定点において, 表層, 5, 10 m 層より採水した。また, 7 定点より堆積物試料を得た。得られた海水試料は, 赤潮藻類の直接検鏡と赤潮原因プランクトン検出キット 1, 2 [1; *K. mikimotoi*, 2; *Chattonella* spp.] (LAMP 法) を用いた検出に供した。直接検鏡用試料は, 海水試料 500 mL を 10 mL まで濃縮して調製した。検出キットによる検出では, 海水試料 1 L を GF/F フィルターを用いて濾過し, フィルター上に捕集したものを DNA 抽出に用いた。捕集したフィルターは 1/4 を分析に使用した。

海底泥中の珪藻類休眠期細胞は, $5.7 \times 10^2 - 1.4 \times 10^4$ MPN g^{-1} wet sediments の範囲で分布しており, 海底まで強い光が到達している定点や潮流の速い定点では羽状目珪藻類が優占していた。*K. mikimotoi* は直接検鏡で 9 定点, 検出キットでは 2 定点から検出された。一方, *Chattonella* 属はいずれの試料からも検出されなかった。以上から, 有害藻類 *K. mikimotoi* は対馬/津軽暖流により運搬されていることを支持する結果となった。本種は火力発電所を有する知内町沿岸以南からは検出されなかった。すなわち, 温排水の影響の及ぶ海域で越冬している可能性が挙げられた。

3. 広島県福山市沿岸における海底耕耘による *Chattonella* 赤潮の発生予防の試み

海底耕耘とそれに引き続く現場調査は, 広島県福山市鞆の浦沖において 2016 年 7 月 7 - 15 日, および 8 月 1 - 9 日の期間, -1 (耕耘直前), 0 (耕耘直後), 2 または 3, 7 日目に表層, 2, 4 m 層で採水と水理環境の測定を行った。また, -1 日目には海底堆積物試料を採取した。実験区は Stn. A (耕耘非実施区域), および Stn. B (耕耘実施区域) の 2 定点を設け, 耕耘は 7 月 7 日, 8 月 1 日の調査後および 7 月 8 日, 8 月 2 日の調査前の 2 回実施した。

7 月と 8 月に採取した海底泥中には珪藻類休眠期細胞が $5.4 \times 10^4 - 2.8 \times 10^5$ MPN g^{-1} wet sediments の密度で分布しており, これらが有光層へ巻き上げられることで, 珪藻類が水柱で卓越するのに十分量含まれていた。7 月に実施した海底耕耘では, 耕耘を行った Stn. B において 0 日目 (耕耘後) に珪藻類が有意に増加し, 7 日目には表層で -1 日目 (耕耘前) の約 30 倍 ($1380 \text{ cells mL}^{-1}$) にまで増加した。一方 *Chattonella* 属は, -1 日目に最高密度 34 cells mL^{-1} 存在していたが, 7 日目までに増殖することなく衰退した。さらに, -1 日目に中底層で形成されていた *Prorocentrum dentatum* 赤潮 (最大 $7390 \text{ cells mL}^{-1}$) も 3 日目までに終息した。以上から, 珪藻類の卓越ならびに有害藻類の増殖抑制が実現できた。8 月に実

施した海底耕耘では、調査開始 0 日目には *Chattonella* 赤潮水塊の流入が認められ、*Chattonella* 属は 4 日目に最高密度 $1140 \text{ cells mL}^{-1}$ を記録したが、7 日目には検出されなくなった。この時、*Chattonella* 属を捕食する従属栄養性渦鞭毛藻 *Gyrodinium dominans* が水柱で優占したことから、8 月に形成された *Chattonella* 赤潮は *G. dominans* による捕食によって終息したものと推測された。

4. 海底耕耘後の現場海水を用いた培養実験による珪藻類と *Chattonella* 属の競合試験

現場海水を用いた競合試験は、2016 年 7 月 8–22 日、および 8 月 1–15 日の間、各々約 2 週間実施した。海水試料は海底耕耘実施直後の Stn. B の 2 m 層より採取した。条件としては、*C. antiqua* の添加濃度、1/100 強度の改変 SWM-3 培地添加、および動物プランクトンの除去 ($100 \mu\text{m}$) について、処理の有無の組み合わせで、7 月の培養実験では 6 つの実験区を、8 月の実験では、耕耘実施前の海水試料を加えた 8 つの実験区を設けた。各ボトルはインキュベータ内にて温度 25°C 、光強度約 $50 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、明暗周期 14 h L : 10 h D の条件下で培養した。培養開始 0, 2, 4, 6, 10, 13 もしくは 14 日目に副試料を採取した。

7 月の実験では、ほとんどの実験区において、栄養塩類は実験開始 2 日目より減少した。その後、6 日目までに珪藻類は $10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ に達し、最大 $200 \text{ cells mL}^{-1}$ の密度で存在した *Chattonella* 属は消滅した。これは、珪藻類が栄養塩類を優先的に利用し増殖した結果と考えられた。8 月の実験では、*C. antiqua* を添加した実験区 G ($300 \text{ cells mL}^{-1}$)、H ($500 \text{ cells mL}^{-1}$) を含め、すべての実験区において栄養塩の減少とともに *C. antiqua* は消滅した。ところが、実験区 D–F では 10 日目まで *C. ovata* が $25–173 \text{ cells mL}^{-1}$ の密度で存在した。これは、*Chattonella* 属の中でも *C. ovata* は貧栄養環境下に対する耐性が強いためである。以上から、珪藻類の増殖によって *C. antiqua* は $200 \text{ cells mL}^{-1}$ の密度でも駆逐できるが、*C. ovata* の場合は $100 \text{ cells mL}^{-1}$ 以下の時に珪藻類を卓越させる必要があると示唆された。

本研究により、*K. mikimotoi* は毎年夏 – 秋季に津軽暖流によって北海道函館湾へ運搬されていることが明らかで、今後も本湾において赤潮を形成する可能性が高い。したがって、非固定試料を用いたモニタリングを行い、本種の来遊パターンや来遊源の解明が今後の課題として挙げられる。また、このような有害赤潮の対応策として、海底耕耘は非常に効果的な手法であることが明らかとなった。今後、実用化に向けてはさらなるデータの蓄積を行い、手法のメニュー化が重要である。