

珪藻類休眠期細胞を活用した有害鞭毛藻赤潮の発生予防に関する研究

有害藻類赤潮は日本沿岸で頻繁に発生しており、魚介類や有用二枚貝類の大量斃死や深刻な漁業被害をもたらすことから、有効な防除対策の開発が望まれている。これまでに、海面回収、超音波などを用いた様々な物理化学的手法が提案されてきたが、環境への悪影響や規模、経済的な負担から、韓国における粘土散布以外は実用化されていないのが現状である。そこで近年、有効な生物学的赤潮防除策として、海底耕耘が提案されている。海底耕耘は海底土の耕耘を行い、海底へ酸素を供給することで漁場を改善させるという技術であり、もともと沿岸域における底質改善技術として開発された。赤潮防除策としては、珪藻類休眠期細胞を海底から有光層に捲き上げ、発芽させ、水柱に栄養細胞を供給して、栄養塩を消費させることで有害赤潮藻類の増殖を防ぐという手法である。したがって、従来の海底耕耘とは運用思想が異なるため、より効率的な器具や技術の開発が必要となる。本研究では、海底耕耘による珪藻類休眠期細胞の捲き上げが有害赤潮の発生予防に有効かどうかを検討するため、近年、有害赤潮による大きな漁業被害が頻繁に生じている豊後水道海域の大分県佐伯湾を対象海域とし、海底耕耘の実用化を想定した観測及び、現場での発芽実験、さらに実際に海底耕耘を行った。

調査地における発芽可能な珪藻類休眠期細胞の存在密度を把握するため、2013年6月24、25日に大分県佐伯湾の9地点において採泥を行い、MPN法を用いて珪藻類休眠期細胞の分類群ごとの分布密度を推定した。また、珪藻類休眠期細胞の発芽への深度・光強度の影響を検討するため、調査地における珪藻発芽試験を実施した。試料は2013年5月20日に、佐伯湾沖松浦漁港において、海底直上水と海底泥（表層1 cm深）を採取した。1) 海底直上海水域、2) 海底直上海水と1/20強度SWM-3培地添加域、3) 海底泥域、4) 海底泥と1/20強度SWM-3培地添加域という4つの実験区を設け、これらの容器を現場の生簀にて垂下した（0 m, 5 m, 9 m）。さらに、2) と4) の実験区は温度23°C、明暗周期12 h L: 12 h D、光強度100 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に設定したインキュベータ内にも設置した。以上の実験区で10日間培養を行った。実験開始から1, 2, 4, 7, 10日目に各容器から副試料を採集し、同時に環境要因（水温、塩分、光量子束密度）を測定し、珪藻類栄養細胞の同定と計数を行い、珪藻類の栄養細胞密度と分類群組成の挙動を明らかにし、環境要因との関係を検討した。さらに、実際に現場で有光層に捲き上げられた珪藻類休眠期細胞が発芽・増殖し水柱で優占するのかを検証するため、2013年5月21日に大分県佐伯湾沖松浦漁港において海底泥捲き上げ試験を実施した。対照区として同じ湾内の実験を実施していない小田代海域を設置した。実験後7日間、採水と環境要因の測定（水温、塩分、溶存酸素、密度、光量子束密度）を行った。海水試料から栄養塩類（DIN, $\text{SiO}_2\text{-Si}$, PO_4P ）とChl.*a*濃度の測定、珪藻類栄養細胞の分類群同定及び計数を行い、実験後の植物プランクトン群集の栄養細胞密度の変動をモニターした。

2013年6月24日と6月25日の佐伯湾9地点の海底堆積物中における珪藻類休眠期細胞の分布密度は、5地点で $1.0\text{--}5.0\times 10^4 \text{ cells cm}^{-3} \text{ wet sediments}$ 、2地点で $5.0\text{--}1.0\times 10^5 \text{ cells cm}^{-3} \text{ wet sediments}$ 、別の2地点で $1.0\text{--}5.0\times 10^5 \text{ cells cm}^{-3} \text{ wet sediments}$ の範囲で推移し、佐伯湾全体に高密度で存在していた。分類群組成についてみると、水深の浅い6), 9) の地点においては底

生性の*Navicula* spp. がそれぞれ65%, 96%を占め、佐伯湾中央部の地点においては*Skeletonema* spp. が24-75%を占め、外洋水の流入がある3), 4) の地点においては*Chaetoceros* spp. がそれぞれ12%, 27%を占めていた。

珪藻発芽試験を実施した期間中の水温と塩分は、珪藻類の好適水温、塩分に概ね一致していた。光量子束密度についても7日目を除いて全ての層で珪藻類休眠期細胞の発芽、その後の増殖に十分な強度であった。栄養塩類は、4つの栄養添加域では増殖に十分な量の栄養塩が存在していたが、1) と3) の実験区においては増殖に必要な栄養塩が欠乏していた。珪藻類栄養細胞密度についてみると、試験期間中、全ての実験区で密度は高くなった。栄養塩添加域ではインキュベータ内に設置した実験区の方が低い値を示した。これは、Chl. *a* 濃度の変動とも概ね一致していた。主要な珪藻類の構成比は、全ての実験区で2, 4日目以降底生性の*Navicula* spp. からプランクトン性の*Chaetoceros* spp. や*Leptocylindrus danicus* へと優占種が変化した。また、栄養添加域では2日あるいは4日目以降、*Skeletonema* spp. も優占した。栄養塩を添加しなかった実験区では、珪酸塩や窒素が珪藻類の増殖を制限した。以上から光を与えた条件下で珪藻類の休眠期細胞が発芽・復活して栄養細胞となり、増殖していることが示された。

泥捲き上げ試験期間中の水温、塩分及び密度は実験区と対照区でほぼ同様の傾向を示し、試験後6日目までは弱く成層化していたが、7日目に鉛直混合が見られた。これは7日目に低気圧が接近し、風がやや強くなったためと考えられる。光量子束密度についても実験区と対照区共に、7日目を除く5 m以浅で珪藻類の発芽、その後の増殖に十分な光が到達していた。栄養塩類は実験区と対照区のどちらも珪藻類の増殖には厳しい環境であり、5-10 μM の間に珪藻類増殖の閾値があると言われる $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は5 μM 以下の場合があり、DIN は*Chaetoceros* 属が休眠期細胞を形成すると報告されている1 μM をほとんど下回っていた。珪藻類栄養細胞密度は、実験区と対照区共に試験後徐々に減少し、4日目にはほぼ0を示した。珪藻類の構成比は主に*Chaetoceros* spp. が優占していたが、4日目以降は*Leptocylindrus danicus* や他のプランクトン性珪藻類が優占していた。5 m以浅には発芽、その後の増殖に十分な光が到達していたことから、栄養塩類の欠乏が発芽後の珪藻類の増殖を制限したと考えられる。

本研究から、佐伯湾の海底堆積物中には珪藻類休眠期細胞が豊富に存在し、海底泥を有光層に捲き上げ、栄養塩類が豊富な有光層に7日程度留まらせることができれば、珪藻類休眠期細胞が発芽・復活して栄養細胞となり、水柱での増殖が可能となることが明らかとなった。今回の泥捲き上げ試験では、珪藻類休眠期細胞が発芽し、水柱で増殖する様子を確認できなかったが、珪藻発芽試験の結果から珪藻類の増殖に十分な栄養塩が水柱に存在すれば、この手法は有効であると考えられる。今後現場で海底耕耘を実施する際は、現場の環境要因の調査や、実施するタイミングの見極め、佐伯湾の海底堆積物中に存在する有害渦鞭毛藻シストの分布状況を把握していくといったことが必要である。

今井 佑実