

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等の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、海面回収や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。赤潮防除策としての海底耕耘とは、海底に豊富に眠っている珪藻類休眠期細胞を活用しようというものである。発芽に光を要求する珪藻類休眠期細胞を有光層に捲き上げて発芽させ、水柱に生じた栄養細胞の増殖により、栄養塩を消費させることで有害赤潮鞭毛藻類の増殖を防ぐという手法である。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、有害赤潮が頻繁に発生し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における発芽実験を行い、さらには実際に海底耕耘を試験的に行った。

研究を行った海域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日と25日に大分県佐伯湾の9地点から採泥を行い、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、海底に存在する珪藻類休眠期細胞の有光層への捲き上げを想定し、それらの発芽と復活を確認するため、調査地において珪藻の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、海底直上海水と海底泥（表層1 cm深）を採取した。以下の4つの実験区を設定した。すなわち、1) 海底泥添加区、2) 海底泥と1/20強度SWM-3培地添加区、3) 海底直上海水添加区、4) 海底直上海水と1/20強度SWM-3培地添加区である。これらの実験区の容器を大分県水産研究部地先の筏（水深10 m）の生簀にて0 m, 5 m, 9 m層に垂下した。さらに、2) と4) の実験区については温度23°C、明暗周期12 hL: 12 hD、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、実験区5)、実験区6) とした。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、出現した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し、生じた栄養細胞が増殖して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。対照区としてこのような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。海水試料中の栄養塩類（DIN, $\text{SiO}_2\text{-Si}$, PO_4P ）とChl. *a*濃度の測定、ならびに珪藻類栄養細胞の分類群同定と計数を行い、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定量的定性的にモニターした。

2013年6月24日と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 $1.0 \times 10^4\text{--}5.0 \times 10^4 \text{ cells cm}^{-3} \text{ wet sediment}$ 、2地点で $5.0 \times 10^4\text{--}1.0 \times 10^5 \text{ cells cm}^{-3} \text{ wet sediment}$ 、他の2地点で $1.0 \times 10^5\text{--}5.0 \times 10^5 \text{ cells cm}^{-3} \text{ wet sediment}$ の範囲で検出され、佐伯

湾全体に高密度で存在していることが判った。分類群組成をみると、水深の浅い2地点（水深11 mと15 m）においては底生性の*Navicula* spp. がそれぞれ65%と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2地点においては*Chaetoceros* spp. がそれぞれ12%と27%を占めていた。

吊り下げによる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、及びその後の増殖に十分な強度であった。栄養塩類は、2), 4), 5), 6) の実験区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（とくに珪酸塩）が欠乏していた。珪藻類栄養細胞密度についてみると、実験期間中、全ての実験区で密度は高くなり、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日目を降底生性の*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。また栄養を強化した2), 4), 5), 6) の実験区では2日あるいは4日目以降、*Skeletonema* spp. も優占した。1) と3) の実験区では、珪酸塩と窒素が珪藻類の増殖を制限したと考えられた。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が、栄養塩の存在も重要であることが解った。

泥捲き上げ試験期間中の水温、塩分及び海水密度は実験区と対照区でほぼ同様の傾向を示し、泥捲き上げによる影響はほとんど認められなかった。現場では実験後6日目まで弱く成層化していたが、7日目に鉛直混合が検出された。これは7日目に低気圧が接近し、風がやや強く吹い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5m以浅で珪藻類の発芽、及び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、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は5 μM 以下の場合が多く、DINは1 μM をほとんど下回っていた。珪藻類の栄養細胞密度は、実験区と対照区共に捲き上げ実験後徐々に減少し、4日目にはほぼ0を示した。珪藻類は主に*Chaetoceros* spp. が優占していたが、4日目以降は*Leptocylindrus danicus* や他の中心目のプランクトン性珪藻類が優占していた。このように、今回の実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することができなかった。

本研究の結果から、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、有光層に4-7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、珪藻類栄養細胞の水柱での増殖を確認できなかったが、原因として、珪藻発芽試験と比べて泥の散布量が少なかったこと、実験後すぐに珪藻類休眠期細胞が海底に沈んでしまったこと、実験期間中、水柱の栄養塩とくに珪酸塩と窒素源が欠乏していたことなどが挙げられる。今後は、以上の問題を念頭に置き、珪藻発芽試験の結果を参考にして、泥散布の方法や実施するタイミングを十分に吟味して、実用化に向けて更なる検討をしていく必要がある。

今井 佑実