

博士論文の内容の要旨

Abstract of Doctoral Dissertation

氏名 Full Name	小田 悠介
学位名 Name of Degree	博士 Doctor of (理学/SCIENCE)
学位授与年月日 Date of The Degree Conferral	2023年 3月20日/March 20th
論文題目 Dissertation Title	界面活性剤による誘導防御の攪乱が水生生物の捕食被食関係と個体群動態に及ぼす影響

(博士論文の内容の要旨 Abstract of Doctoral Dissertation)

研究背景と目的

1990年代以降、水圏に流入する微量の人為由来化学物質が、水生生物間の相互作用を攪乱することが問題視されてきた。このような攪乱は、化学物質が水生生物の適応的な環境応答（捕食の回避や防御に関わる表現型可塑性）を誘導または制限することで生じ、生物群集の構造や機能に影響を及ぼすことが懸念されている。しかし、このような影響を個体群・群集レベルで評価した研究例は少なく、生態毒性学における重要な課題となっている。

本研究では、ミジンコ類に対する誘導防御として知られる緑藻イカダモの群体形成が界面活性剤により攪乱（誘導あるいは抑制）される現象をモデルケースに、これがイカダモとミジンコの捕食被食関係と個体群動態に及ぼす影響を評価することを目的とした。また、国内で普遍的に出現するミジンコ類（*Daphnia*属と*Bosmina*属）を実験に用い、実環境中で生じうる攪乱影響について解明することを目指した。

PART I. 界面活性剤に対するイカダモとミジンコの感受性：直接影響（生長阻害及び遊泳阻害）と間接影響（群体形成の攪乱）の濃度関係

界面活性剤がイカダモやミジンコ類に及ぼす直接影響（生長や遊泳の阻害）と間接影響（群体形成の攪乱）の濃度関係を比較するため、陰イオン界面活性剤（SDS 及び SOS）と陽イオン界面活性剤（BZK-Br）を用いた生物応答試験を実施した。

群体形成を指標とした試験では、陰イオン界面活性剤の曝露に対するイカダモの群体形成には種間差があることが明らかになった。BZK-Br の曝露試験では、群体形成の誘導要因であるミジンコ類が放出するカイロモンの存在下で群体形成の抑制が検出され、イカダモに対するカイロモンの生物利用能がカイロモンと BZK-Br の存在量に依存して低下することが示唆された。また、界面活性剤による群体形成の攪乱は、直接影響が起きない濃度で観察されることが明らかになった。

PART II. 陰イオン界面活性剤に誘導された群体形成がミジンコ類の摂食率に及ぼす影響

陰イオン界面活性剤の曝露により群体を形成させたイカダモをミジンコ類に給餌し、これによるミジンコ類の摂食率の低下を評価した。ここでは、イカダモやミジンコの種、餌密度やミジンコ類の齢（体長）など、様々な実験条件での摂食率の低下について検討した。

異なる条件で摂食実験を実施した結果、餌密度やミジンコ類の齢は摂食率の低下に大きく影響する要因であることが明らかになった。また、ミジンコ種間でも実験条件に依存して摂食率の低下に差異が観察され、特に *Daphnia* 属は *Bosmina* 属と比べて摂食率が低下するケースが多いことが明らかになった。

PART III. 界面活性剤による群体形成の攪乱が個体群動態に及ぼす影響

PART I 及び PART II で得られた知見を鑑み、イカダモと *Daphnia* 種、及びイカダモと *Bosmina* 種の異なる組合せの共培養系を実験に用いて、これらに BZK-Br あるいは SOS を低濃度でパルス曝露することで、群体形成の攪乱が個体群動態に及ぼす影響を評価した。

個体群密度の持続性を反映する系の安定性指標により影響を評価した結果、群体形成を抑制する BZK-Br の曝露は *Daphnia* 種の全滅リスクを上昇させた一方で、*Bosmina* 種の個体群動態に影響を及ぼさなかった。また、SOS の曝露による群体形成の誘導は系の安定性指標では影響が検出で

きなかったが、*Daphnia* 種の個体群成長を低下させ、*Bosmina* 種の密度を高めた。この結果は、PART II で得られた結果を支持し、2 種のミジンコ類が共存する系では *Daphnia* 種が攪乱の影響を受けやすいことを示唆した。

総合考察

PART I では、標準的な毒性試験では群体形成の攪乱作用が検出できないことを示した。これについて、攪乱作用を検出する初期評価法として群体形成比を指標としたスクリーニング試験を提案した。PART II では、イカダモの群体形成によるミジンコ類の摂食率への影響が、餌密度やミジンコの齢に依存して、ミジンコ属間 (*Daphnia* と *Bosmina*) で異なることを示した。この結果は、界面活性剤がミジンコ類の個体群動態に及ぼす影響は、その攪乱パターンや曝露時期などに依存して変化することを示唆している。また、水生生態学的な視点から、ここで得られた特定の藻類粒子サイズに対するミジンコ類の種特異的な餌選択性は、環境中の藻類群集構造の変化を説明する上で重要な知見となった。PART III では、*Daphnia* 属は *Bosmina* 属よりも群体形成の攪乱影響を受けやすいことを個体群実験から実証した。本結果は、界面活性剤の攪乱影響を介して *Daphnia* 属と *Bosmina* 属の優占がシフトし、湖沼の生態系構造や物質・エネルギー循環が変化しうることを示唆している。これについて、本研究で指標とした系の安定性と食物網動態の関係を考慮し、3 栄養段階以上での群集実験と食物網構造解析の手法を組合せた生態系構造および機能を反映した影響評価法を提案した。各 PART で得られた知見および提案した手法を整理し、群体形成の攪乱が個体群・群集動態に及ぼす影響の段階的評価フローを提案した。