

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	仙北屋 圭
論文題目	七尾湾浅海域の海底環境とアカガイのへい死に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>アカガイ <i>Scapharca broughtonii</i> は七尾湾における重要な漁業資源生物であり、内湾の底生生態系を構成する鍵種である。近年、七尾南湾から西湾では毎年夏から秋の高水温期にアカガイの死亡が確認され漁獲量が激減している。アカガイの死亡する海域は水深10 m以浅の浅海域であり、従来の日中の鉛直観測ではアカガイが生息する海底付近の環境、特に貧酸素化の様子を捉えることができなかった。近年の詳細な調査から、海底における溶存酸素 (DO) 濃度が夜間に繰返し低下する様子が観測された。本研究では、まず七尾湾における水温の長期的な上昇傾向と近年の貧酸素水塊の発生について実態を調べた。次に、七尾南湾浅海域の海底に試験区を設定し、海底付近の環境、特にDO濃度の変化に着目した連続観測を実施するとともに、野外および室内の飼育試験によりアカガイの死亡要因を検討した。さらに、七尾湾におけるアカガイの死亡に至る機構と対策について考察した。</p> <p>第1章では研究の背景と目的を示した。第2章では、七尾湾における水温の長期変化と貧酸素水塊について調べた。七尾湾において、過去40年間に水温は9~2月に有意に上昇し、6~7月にはやや低下する傾向があり、3~5月と8月には有意な変化はみられなかった。40年間の年間水温上昇率は北湾、西湾ならびに南湾において、それぞれ、0.016、0.024ならびに0.027°Cであった。水温の上昇は七尾市の長期的な気温の上昇と比較的一致するとともに、水温が低下する秋~冬季に外海水の流入による上昇が示唆された。また七尾西湾においては、2013年8~9月に大雨に由来する陸水が表層に滞留して長期間成層を形成し、底層において貧酸素水塊が発生し広範囲に拡大したが、台風による鉛直混合により解消した。2014年においても降雨に由来する成層が形成され、貧酸素化した海域が確認された。しかし、この年は南西風が卓越したため成層は継続せず、貧酸素水塊は拡大しなかった。夏季の降雨と南西風の弱まりが重なると、流入した大量の陸水が攪乱を受けないまま七尾西湾の表層に滞留し、成層化することで貧酸素水塊が発生するメカニズムが考えられた。</p> <p>第3章では、アカガイの死亡と浅海域の海底環境について調べた。2013年夏季に水深4 mの海底表面から海底上30 cmで実施したDO連続観測により、日没から夜明けにかけて海底に近いほど貧酸素化し、日中に増加するDO濃度の日周変化が観測された。2015年も海底上2 cmにおいて同様の変化が観測され、光量子量の変化とよく一致した。調査海域の海底堆積物の表面には珪藻を主体とする微細藻類が高密度に分布し、クロロフィルa濃度は干潟の表層で観測される値と同等であった。DO濃度の日周変化は、高密度の微細藻類による日中の光合成と夜間の呼吸および海底有機物の分解によることが推察された。2013年と2015年に七尾南湾で実施した野外飼育実験において、いずれの年も海底上15 cmの上げ底区におけるアカガイの生残率</p>			

は海底の埋在区よりも有意に高かった。2015年は2013年に比較して急激な死亡がみられ、2013年と2015年のLT50は、埋在区では255.7日から71.8日に、上げ底区では281.1日から106.8日に減少し、2015年には海底上15 cm においても厳しいDO環境であったことが推察された。2015年には上記の試験区に隣接して、粒径1~2 cmに砕いたカキ殻を8 m×8 mの海底に敷設した。カキ殻中にアカガイが潜れるように設置したカキ殻敷設区の生残率は、埋在区および上げ底区よりも有意に高く、高水温期のアカガイの死亡を防ぐ効果が認められた。

第4章では、水槽実験により水温およびDO濃度を変化させてアカガイの生残率と生理状態を調べた。貧酸素環境下のアカガイのLT50は水温の上昇にともない減少し、水温30℃では7~11日で死亡した。血リンパ液中の有機酸濃度では酢酸とプロピオン酸が急増し、嫌気代謝が確認された。七尾南湾の海底で観測されたDO日周変化を模して、8時間の貧酸素（DO濃度 < 1.0 mg/l）と16時間の酸素飽和（DO濃度 > 6.0 mg/l）を繰り返した8時間貧酸素区では、29℃を超えると死亡が認められ、30℃で40日以内に全ての個体が死亡した。高水温の飼育環境下で毎日繰り返す貧酸素状態に暴露することにより、アカガイは徐々に死亡することがわかった。8時間貧酸素区のアカガイ血リンパ液中にはコハク酸が断続的にみられ、飼育水温の上昇に伴い濃度が上昇する傾向にあった。このような環境下で、アカガイはDO濃度の増減に対応して嫌気/好気代謝を繰り返し、次第に消耗し死亡に至ると考えられた。

以上の結果より、アカガイの死亡を防ぐには、海底で夜間に繰り返し発生する貧酸素をどのように防止するかが重要と考えられた。具体的な減耗対策として、養殖カゴを海底から鉛直方向に一定間隔離す底上げ、およびカキ殻敷設による海底基質の改善を検討した。通常のアカガイが生息する海底堆積物中（埋在区）と比較し、いずれの方法も生残率が有意に上昇し、死亡を防止する効果が認められた。しかし、2015年は上げ底区においても生残率が低く、LT50は半分以下であった。年によって水温や海底のDO環境は異なり、海底上15 cmにおいても貧酸素の影響を受けることが示された。カキ殻敷設区はそうした環境においても有意に高い生残率であり、LT50は他の区の1.5~2倍であった。カキ殻敷設区では、直上水とカキ殻中の間隙水との間の海水交換によりDO環境が改善されることが示唆されたが、そのメカニズムは今後の課題である。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400~1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500~2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

近年、わが国の沿岸海域ではアカガイやアサリなどの底生二枚貝類の漁獲量が激減しており、原因の解明と対策が急務である。しかし、貧栄養化あるいは富栄養化、底質の細粒化、外来性捕食者の増加、水温上昇、貧酸素化など、関係する要因は多様であり減耗機構の解明は容易ではない。本研究では、夏季にアカガイの死亡が確認され漁獲量が急激に減少している石川県七尾湾において、長期的な環境調査と溶存酸素 (DO) 濃度の連続観測を実施するとともに、野外および室内の飼育試験によりアカガイの死亡要因を明らかにし、アカガイ資源の再生方策を検討した。本論文の評価すべき点は以下の通りである。

1. 七尾湾では、近年の水温上昇が著しく海底での貧酸素化が進行していることを示した。また、高水温期に海底に貧酸素層が発達する機構において、夏季の降雨と南西風の動態が最も重要な要因であることを明らかにした。

2. 七尾湾の海底では、堆積有機物の分解と底生微細藻類の呼吸により夜間に海底に近いほど貧酸素化し、夏～秋季に繰り返し発生する夜間の貧酸素化によりアカガイが徐々に消耗して死亡することを確認した。また、粉碎処理したカキ殻を海底に敷設することで、本種の生残を改善できることを示した。

3. 飼育実験において野外での貧酸素化を再現し、貧酸素による夜間の嫌気代謝が長期的に継続することにより、アカガイが死亡に至る生理的メカニズムを明らかにした。また、夜間の貧酸素による死亡は、水温29℃を越えると発生することがわかった。

4. アカガイ資源の再生のために、有機物の負荷量を減らすなどの根本的な方策とともに、底質の改善や貧酸素の影響が及ばない中層養殖などの対策を提案した。

以上のように、本論文は資源状態の悪化が著しいアカガイの減耗メカニズムの一端を解明し、資源再生のための方策について提言しており、水産海洋学、水産生物学、水産資源学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成31年2月13日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)