

ワカメの色落ち現象機構の解明と対策

新たなノリ色落ち対策技術開発

中西達也・棚田教生・斎浦耕二・平野 匠・上田幸男

本県沿岸では冬季の水温の上昇と栄養塩の減少に伴い、アマノリとワカメの色落ちの発生頻度が高まっている。とりわけ、アマノリと比べて色落ちが発生するDIN濃度が低いとされるワカメにも色落ち現象が多発している。

ワカメの色落ち対策技術開発を目的に、これまで、ワカメの色落ちは基部から発生すること、基部のSPAD値を測定することで色落ちの評価や予測が可能なこと、色落ちはDIN濃度が回復すれば基部から回復することを明らかにした。これらの結果、DIN低下時からワカメ藻体に当てる光量を制御することで色落ちを抑制したり、DIN濃度回復時に色調の回復を早めたりできる可能性が示唆された。

平成24年度は、前年に引き続き、栄養塩濃度低下に伴う色落ちを予測するために、養殖期間を通して養殖ワカメのSPAD値とDIN濃度をモニタリングするとともに、客観的に色落ちの有無を判別するために、SPAD値を集積した。さらに、養殖ロープの水深を上下させて光量を調整することにより、色落ちを抑制し、早期に回復させるための室内予備実験を実施した。

材料と方法

1. 養殖漁場におけるワカメのSPAD値とDIN

播磨灘沿岸の鳴門市栗田漁場及び紀伊水道沿岸の同市里浦漁場（図1）において、平成23年10月12日から平成24年3月21日までの間、月2～4回表層水を採取し、GF/Cフィル

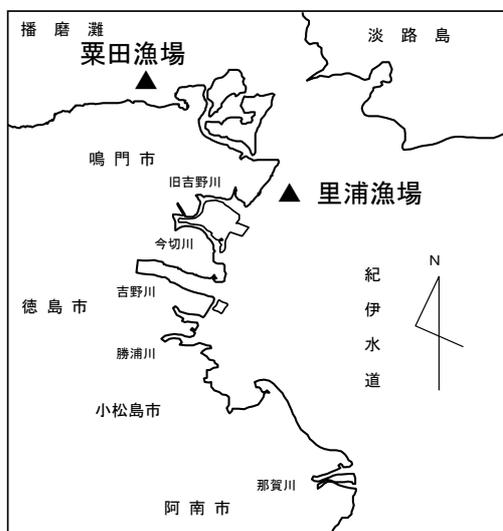


図1. ワカメサンプリング漁場位置図

ターでろ過した後、自動流れ分析装置swAAt（ビーエルトック社製）で栄養塩を分析した。また、養殖中のワカメを月2～4回採取し、個体ごとに葉長を計測後、葉緑素計SPAD-502（コニカミノルタ製）で、基・中央・先端各部（図2）のSPAD値を測定した。

2. SPAD値による色落ち判別分析

平成24年1月13, 25日, 2月7, 15, 22, 29日, 3月21, 28日に里浦漁場で採取した養殖ワカメについて、生産者に「正常」、「軽度色落ち」、「色落ち」の3段階に選別を依頼した。「正常」と「軽度色落ち」に選別されたワカメの葉長、基部SPAD値の2変数について線形判別分析をおこなった。

3. 光量調節による色落ち回復試験

室内実験で、野外養殖場の3水深（0.6m, 1.7m, 4.2m）に該当する3つの光量区を設け、光量以外の条件を同一にし、栄養塩濃度を貧栄養状態から回復状態へ変化させ、各区のワカメの色落ちと色調の回復について調べた。

試験区的光量を設定するため、平成24年1月～3月にかけて6回、鳴門市里浦の養殖場における水深0～5mの光量子量の測定を行った。光量の測定は球形光量子計（型式SPHERICAL, LICOR社製）を使用した。測定結果から、水深0.6mに相当する光量は $506 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、水深1.7mに相当する光量は $338 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、水深4.2mに相当する光量は $138 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であることが分かった。なお、水深0.6m及び1.7mは養殖前期及び後期に養殖ワカメが位置する標準的な水深である。

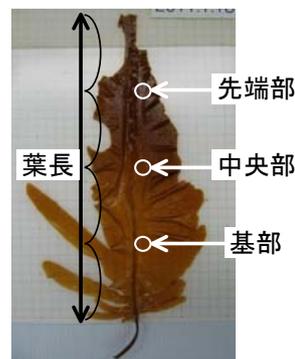


図2. SPAD値の測定箇所

ワカメの培養には200Lパンライト水槽3槽を使用した。光源はメタルハライドランプ（藤崎電気社製）で、光量の調整は、ランプと水槽との距離や水槽の外側にアルミホイルを張り付けることで調整した。試験期間中の室温は11.5～12.4 で推移した。明暗周期は10時間明期、14時間暗期とした。

試験に供したワカメは早生系のFK-WS株で試験区当たり6個体の密度で培養した。試験開始時の葉長の平均は491.4mm±64.2mm（標準偏差）である。各区への注水量は6リットル/分の割合で15分間注水、その後30分間止水の繰り返しとした。水温は10.8～12.9 で推移し、栄養塩濃度は3区とも同じになるよう設定した。

試験開始（0日）から13日後までは貧栄養状態の期間とし、約2,500Lの海水を閉鎖系で循環させることで貧栄養状態を作り出した。さらに、試験開始13日後の測定直後から28日後までは、汲み上げる過海水を添加することで栄養塩が回復した状態を作り出した。

試験開始時（0日）、1日後、4日後及び以後2日おきに28日後まで、基部、中央部及び先端部のSPAD値と葉長を測定した。

測定項目は、各区の葉長、基部、中央部及び先端部のSPAD値を測定した（図2参照）。また、各区の培養海水を採水し栄養塩濃度を測定した。

結果と考察

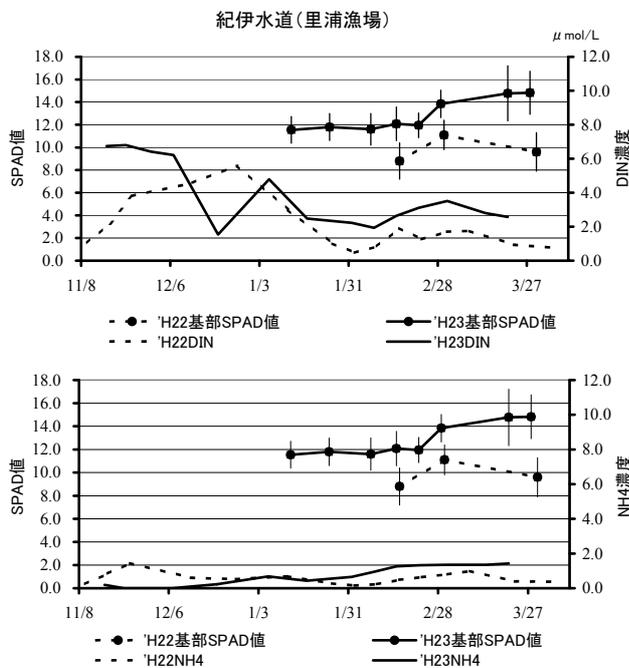


図3. 里浦漁場及び粟田漁場における、表層水中の無機溶存態窒素（DIN）濃度、アンモニア態窒素（NH4）濃度及び養殖ワカメ基部SPAD値の推移。SPAD値の範囲は標準偏差を示す。（左上：里浦DIN，左下：里浦NH4，右上：粟田DIN，右下：粟田NH4）

1. 養殖漁場におけるワカメのSPAD値とDIN

里浦、粟田両漁場における平成22、23年度漁期の、表層水中のDIN濃度、アンモニア態窒素濃度、及び養殖ワカメの基部SPAD値の推移を図3に示した。里浦漁場におけるワカメ基部SPAD値と、サンプリング6、7日前のアンモニア態窒素濃度との間に、平成22年度漁期と同様、有意な正の相関が見られた（平成22年度漁期：n=3, r=0.99, p<0.05, 平成23年度漁期：n=8, r=0.81, p<0.05）。しかし、粟田漁場やその他の各態窒素濃度では有意な相関関係は見られなかった。この理由としては、里浦漁場は粟田漁場と異なり、アンモニア態窒素の濃度変化が緩やかなこと、ワカメサンプリング地点と採水地点が近いために栄養塩濃度がワカメの色調によく反映されていると考えられる。また、サンプリングしたワカメの種苗の由来がサンプリング期間を通じて変化しないので、標本の種苗の由来が異なることによるSPAD値の変動がないことが考えられる。

環境水中のDINやアンモニア態窒素濃度の値から、色落ちなどワカメの色調の変化を予測するためには、さらに調査を継続し、データを集積する必要がある。

2. SPAD値による色落ち判別分析

平成23年度漁期は、里浦漁場において極度な栄養塩濃度の低下が見られず、色落ちしたワカメ標本が得られなかった。

正常ワカメのデータを追加し、標本の葉長、基部SPAD値

の2変数について線形判別分析した結果、判別関数 $z=0.477x-0.008y-3.54$ が得られた(図4)。2群の離れ具合を示す相関比は0.38だった。

今回得られた判別関数では、葉長が大きくなるとともに色落ちの判別の境界となる基部SPAD値が大きくなる傾向がみられた。ワカメは葉長が大きいほど葉厚が厚くなり、SPAD値は大きくなる傾向があるため、傾きが右上がりの判別関数は実態に合ったものと考えられる。しかし、葉長の大きい色落ちワカメのデータが不足しているため、傾きがゆるやかな判別関数となり、判別の境界となるSPAD値が8

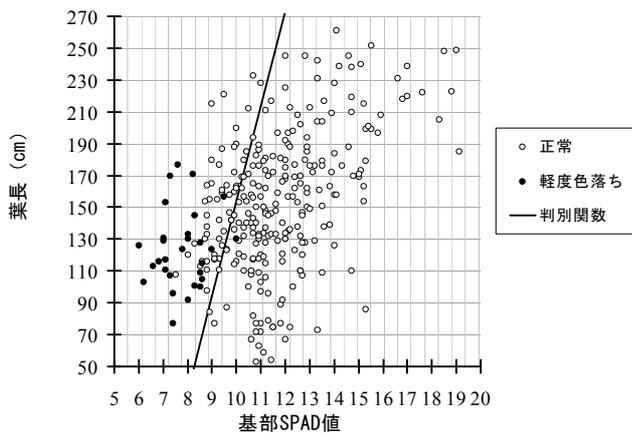
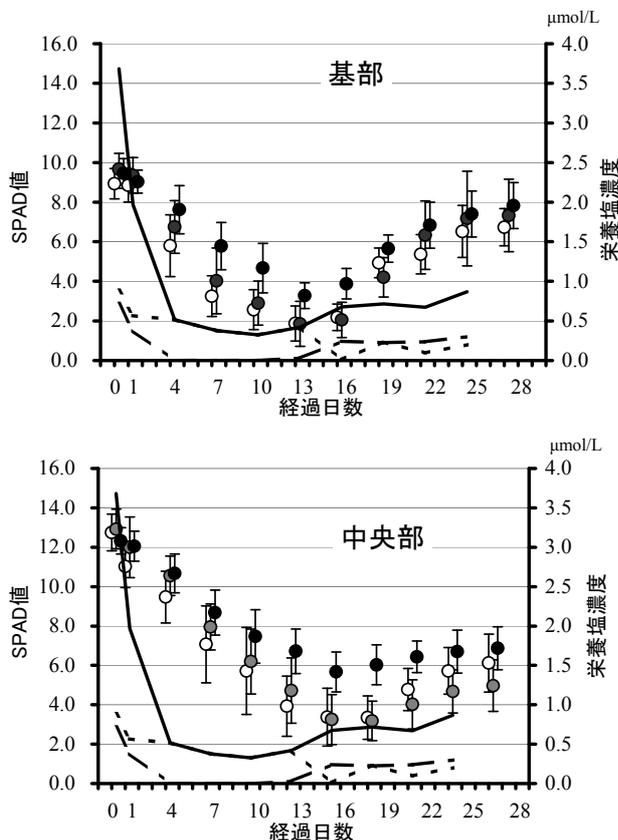


図4. 基部SPAD値と葉長の関係に適用された線形判別式



~12と範囲が広がったと考えられる。今後、葉長の大きい色落ちしたワカメのデータを集積し、再計算する必要がある。

3. 光量調節による色落ち回復試験

各試験区のDIN, DIP, アンモニア態窒素濃度の推移とワカメの各部SPAD値の推移を図5に示す。貧栄養時の色落ちについて、試験開始13日後、SPAD値は基部、中央部、先端部の順に低い値となった。SPAD値の低下速度は、基部、中央部、先端部の順に速かった。SPAD値の低下は、各部とも $138 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 区が最も遅く、 $506 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 区が最も速かった。栄養塩回復時の色調回復について、基部や中央部のSPAD値の上昇は、 $138 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 区と比べて、 $338 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 区や $506 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 区が速かった。先端部は、栄養塩回復後も基部や中央部のように色調が回復しなかった。

各試験区のDIN, DIP, アンモニア態窒素濃度の推移とワカメ葉長の推移を図6に示す。葉長の増加は、光量 $506 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 区が速く、他の2区は大差がなかった。しかし、試験終了後の葉体について、 $138 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 区のワカメは、 $506 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 区のものに比べて、つや、ぬめりがあり、手触りも柔らかく、品質的には勝っていると考えられた。

これらの結果から、野外において、貧栄養時には水深

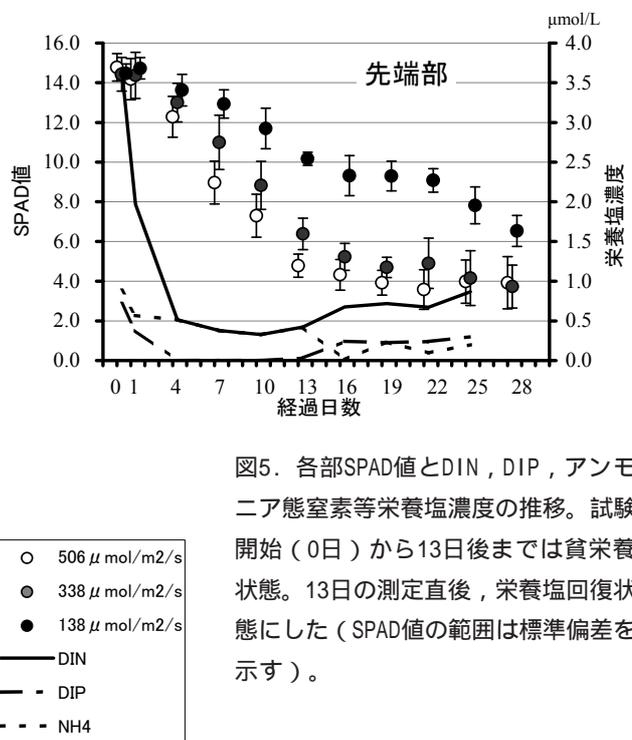


図5. 各部SPAD値とDIN, DIP, アンモニア態窒素等栄養塩濃度の推移。試験開始(0日)から13日後までは貧栄養状態。13日の測定直後、栄養塩回復状態にした (SPAD値の範囲は標準偏差を示す)。

0.6m～1.7mから、水深4.2mに下げることにより色落ちを遅らせ、栄養塩回復時は水深を浅く（光量を増やす）ことで色調の回復を早められる可能性があると考えられた。

ただし、今回の試験は、野外のワカメ養殖場と水温や海水流動などの環境が大きく異なると考えられること、ワカメの成長段階や種苗の由来によって、様々な結果が出る可能性があり、再現性を含め、多くの組み合わせで培養実験を行う必要があると考えられる。

また、今回の試験では、試験開始後の貧栄養状態において、4日後以降、アンモニア態窒素を除く硝酸態窒素と亜硝酸態窒素濃度が検出限界以下となったが、DIP濃度も検

出限界以下となり、色落ちがDINの不足のみならず、DIPの不足によって引き起こされた可能性がある。さらに、試験開始13日後以降の栄養塩回復時に、色落ちが発生しない最低レベルのDIN濃度（ $2 \mu\text{mol/L}$ 程度）まで回復できなかったことから、今回観察された色調の回復はDIN濃度の変化のみによるものでなく、DIP濃度の回復の影響が大きい可能性も考えられる。

今後は、野外の異なる水深（光量）での養殖試験を行い、ワカメの生長やSPAD値の推移を調査するとともに、野外での光量抑制手法として、寒冷紗の利用など、実用的な方法を検討する必要がある。

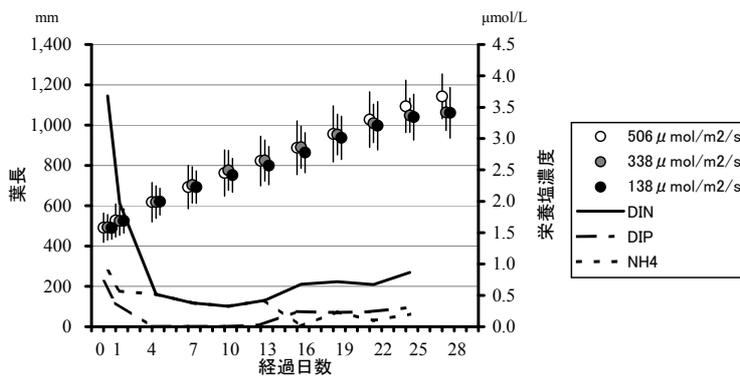


図6. 葉長とDIN, DIP, アンモニア態窒素濃度の推移。試験開始（0日）から13日後までは貧栄養状態。13日の測定直後、栄養塩回復状態にした（葉長の範囲は標準偏差を示す）。