

# 漁場生産力向上のための漁場改善実証試験 実証試験

朝田健斗・加藤慎治・吉田和貴・廣澤晃

海域の栄養塩濃度、とくに無機態窒素の不足が原因と考えられる色落ち現象が、紀伊水道西部及び周辺海域のノリ・ワカメ養殖漁場において近年頻発している。養殖藻類の色落ちを防ぎ、回復させるための方策の一つとして、施肥が考えられる。そこで、さまざまな施肥剤の溶出特性、色落ちを回復させる効果などを調べ、より効果的な施肥剤そして施肥手法の開発を試みた。

なお、本試験の詳細は「平成31年度漁場環境改善推進事業のうち栄養塩からみた漁場生産力回復手法の開発報告書報告書」を参照されたい。

## 材料と方法

### (1) 施肥剤の改良

今年度の試験に供試した施肥剤（図1）は、昨年度開発したウォータータンク施肥剤を改良したもので、硝酸アンモニウム溶液を液肥のまま充填し、上部のフタを半透膜（Spectra/Por5 Dialysis Membrane）で覆うことにより肥料成分の溶出量を調整できるようにした。また、タンク内に空気を残して浮力を持たせ、上部の持ち手部分に300g程度の鉛を結び付けて半透膜面が常に下を向くようにした。なお、液肥はイオン交換水3L、硝酸アンモニウム1,500gの割合で作製した。



図1. 施肥剤の外観.

施肥剤の溶出特性は次の方法で調べた（図2）。0.5トンパンライト水槽に施肥剤を1個吊りし、水槽内を海水500Lで満たし、水槽内の水がよく混ざるようエアレーションを行った。1時間毎に約85Lを換水し、排水の一部を、硝酸塩測定用水槽へ送り、水中紫外線硝酸塩アナライザー（Sea-Bird Scientific社製 SUNAV2）（以下硝酸塩センサー）を用いて硝酸塩濃度を測定した。

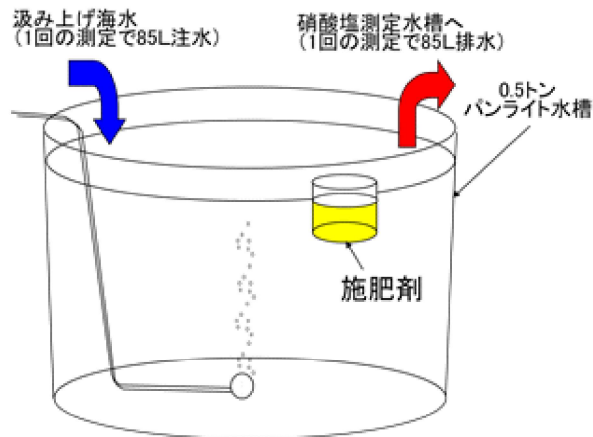


図2. 溶出試験水槽の構造.

また、定期的に連続流れ分析装置（QuAatro：ビーエルトック社製）にて排水中の硝酸態窒素濃度とアンモニウム態窒素濃度を分析し、その合計値と硝酸塩センサーによる測定値との相関関係を調べ、センサー測定値を補正した。そして、その補正值をもとに硝酸態窒素量とアンモニウム態窒素量とを合計した1時間ごとの溶出量を計算し（図3）、日間溶出量と累積溶出量の推移を求めた。なお、注水に使用した汲み上げ海水の硝酸態窒素濃度とアンモニウム態窒素濃度の合計は、試験期間中常に2~3 $\mu$ Mと低かったため、換水による影響は無視した。

・水槽内の海水量：500L  
・1時間ごとの測定時における排水量：85L

$X_n$ ：n回目の測定における  
硝酸態窒素濃度とアンモニウム態窒素濃度の合計値( $\mu$ M)  
 $X_{n+1}$ ：n+1回目の測定における  
硝酸態窒素濃度とアンモニウム態窒素濃度の合計値( $\mu$ M)  
 $Y_n$ ：n回目からn+1回目の測定の間(1時間)に溶出した  
硝酸態窒素及びアンモニウム態窒素の合計量(mmol)

$$Y_n = \{X_{n+1} \times 500 - X_n \times (500 - 85)\} \div 1000$$

図3. 溶出量の計算方法.

### (2) 養殖漁場現場での野外試験

野外試験は、2020年2月7日より紀伊水道南部に位置する阿南市今津におけるワカメ養殖棚で実施した。ワカメ養殖棚は全体の大きさが約50m四方であり、ロープが一辺約3m四方の網目状に張られていた。養殖棚の北東角を施肥剤

設置エリアとし、施肥剤は、ワカメ養殖ロープの交点に設置されているブイに6m四方で取り付けた。なお、北西の位置に設置した施肥剤は試験開始後7日目までに流失していた。本海域は南北方向に潮流が卓越しており、潮流による効果範囲の伸展を検証するため、サンプリング箇所は南西位置にある施肥剤を中心に南北方向、東西方向及び施肥剤設置箇所中央に設定した(図4)。サンプリングは試験開始後7日目と14日目に行い、株ごと刈り取ったワカメのうち、大きいもの10本のSPAD値を測定した。SPAD値は、葉緑素計(SPAD-502 Plus: コニカミノルタ社製)で計測し、値は最大裂葉の欠刻部から裂葉先端に向かって10cmの間にて3カ所測定した平均とした。

また、肥料成分の拡散具合を調べるために、ワカメのサンプリングと同時に施肥剤設置箇所周辺にて採水し、連続流れ分析装置で栄養塩濃度を測定するとともに、養殖棚に設置した流向流速計から採水時点における潮流を求めた。

なお、対照区となるワカメ及び海水は、施肥剤の影響を受けないよう施肥剤設置エリアの対角にてサンプリングした。

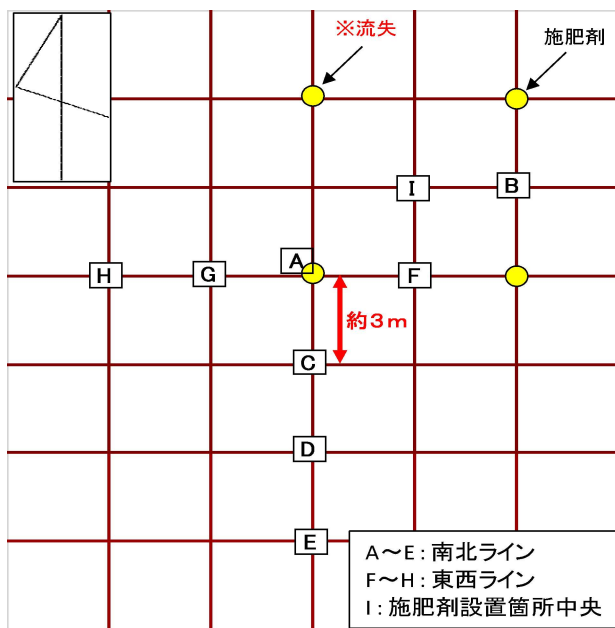


図4. ワカメサンプリング箇所.

## 結果

### (1) 施肥剤の改良

図5に、硝酸塩センサーの測定値と連続流れ分析装置により測定した硝酸態窒素とアンモニア態窒素の合計量との関係を示した。この両者のパターンは酷似しており、明瞭な相関関係がみられた( $n=10$ ,  $r=0.998$ ,  $p<0.01$ )ので、この関係式を用いて硝酸塩センサーの値を補正した。

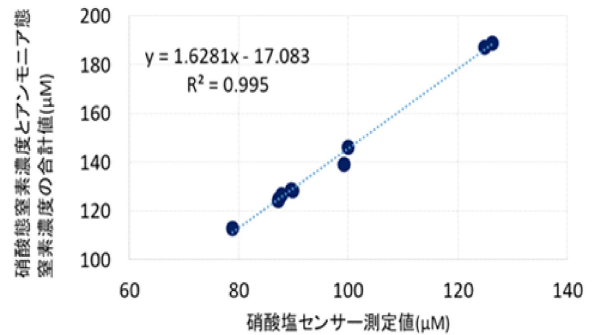


図5. 硝酸塩センサーの測定値と連続流れ分析装置により測定した硝酸態窒素濃度とアンモニア態窒素濃度の合計値との関係.

図6に硝酸態窒素とアンモニア態窒素の合計日間溶出量の推移を、図7に累積溶出量の推移を示した。施肥剤を設置した当初は溶出量が急増したが、その後は日間溶出量が100~200mmolに安定した。また、施肥剤を激しく揺らした直後には溶出量が2~3倍程に増加したが、その後は再び直前の溶出量に落ち着いた。

昨年度の施肥剤では、容器を1回転させただけで直後の溶出量が数十倍にまで増加していたことからすると、改良後の施肥剤では、肥料成分の溶出ペースをより安定化させることに成功したと考えられた。

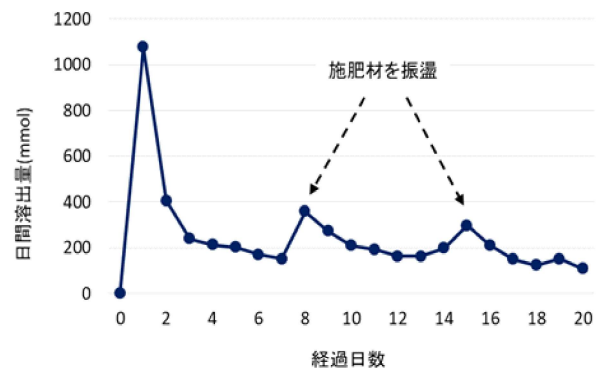


図6. 硝酸態窒素とアンモニア態窒素の合計日間溶出量の推移.

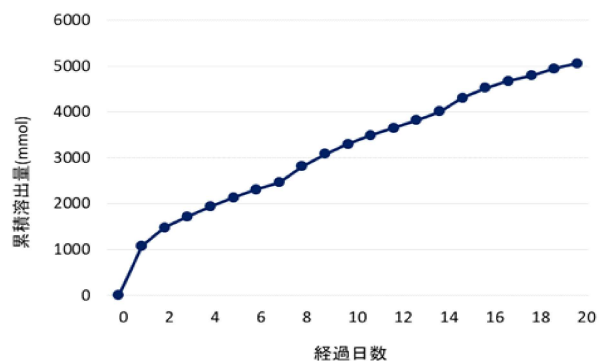


図7. 硝酸態窒素とアンモニア態窒素の合計累積溶出量の推移.

## (2) 養殖漁場現場での野外試験

試験開始7日目にサンプリングしたワカメのSPAD値を図8に示した。対照区のSPAD値は平均で11.4と、施肥剤周辺にてサンプリングしたワカメのSPAD値とそれほど差が見られなかった。ただ、施肥材に一番近いAのSPAD値は14.1と、他の箇所よりも若干高い値を示した。なお、試験開始7日目においてワカメは色落ちしていなかった。

試験開始14日目にサンプリングしたワカメのSPAD値を図9に示した。対照区のSPAD値は平均で11.6と、施肥剤周辺にてサンプリングしたワカメのSPAD値とあまり差はみられなかった。また、施肥材に一番近いAにおけるSPAD値は12.6と7日目からわずかながら低下し、他の箇所と変わらない値となった。なお、試験開始14日目においてもワカメは色落ちしていなかった。

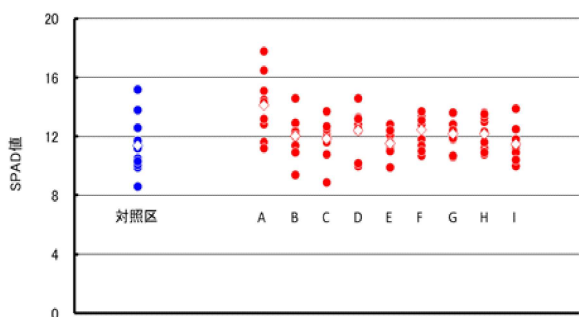


図8. 試験開始後7日目のSPAD値.

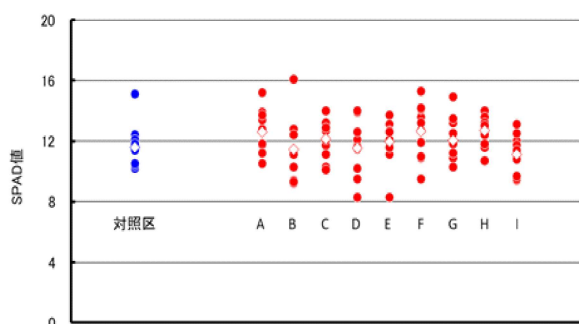


図9. 試験開始後14日目のSPAD値.

図10に、試験開始後14日目の施肥剤設置箇所周辺のDIN濃度を示した。採水時、潮は南南東に向かって毎秒2.3~3.5cmの速さで流れていた。施肥剤に一番近い箇所では3.7μMと周辺より高かったが、そこから1.5m以上離れた箇所では、DIN濃度が1μM未満と対照区とあまり差がみられなかった。そのため、肥料成分が溶出し続けていることは分かったが、周囲への拡散及び潮流方向への伸展については実証できなかった。これは、そもそも肥

料成分の溶出量が不十分であったか、硝酸アンモニウムが海水よりも比重が大きいため、流速が小さく沈降してしまった可能性が考えられた。

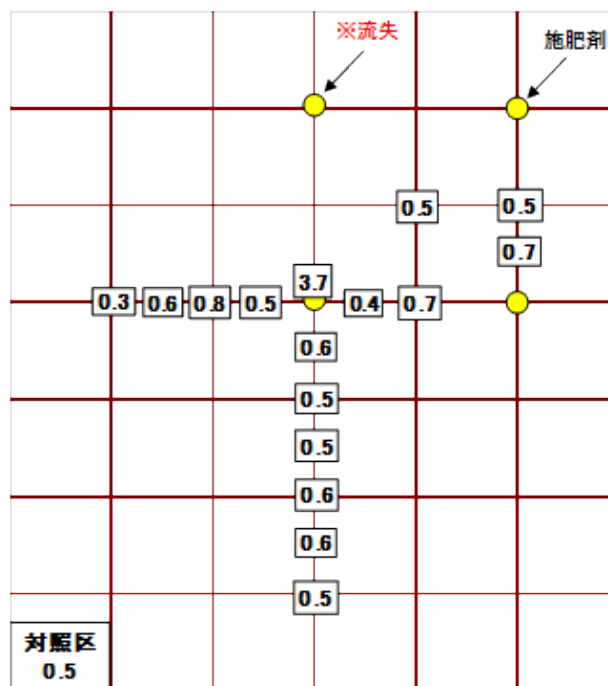


図10. 施肥剤設置箇所周辺のDIN濃度(14日目).

今年度改良した施肥剤は、肥料成分である硝酸アンモニウム溶液を寒天で固めずに液体のまま使用することによって、作製の手間とコストを省くことができたことに加え、肥料成分が切れたときに補充が可能となった。また、溶出口を半透膜で覆うことで、波浪の影響によらず安定的に肥料成分を溶出させることに成功した。

しかし、今年度はワカメの色落ちが発生するほど漁場のDIN濃度が減少しなかったために、SPAD値で効果を実証することができなかった。また、施肥剤設置箇所周辺のDIN濃度からも、肥料成分の拡散及び潮流方向への伸展を裏付けるデータは得られなかった。ただ、容器の中身を寒天ではなく液体にしたことで、容器の構造に改良の余地が生まれたため、来年度は比重の違いによる肥料成分の沈降の影響を考慮しつつ、肥料成分が水面付近で拡散・伸展するような容器の構造や設置方法について検討していきたいと考えている。また、肥料の濃度や半透膜の表面積の大きさによる溶出量の違いを検証し、材料の使用量の節減に繋げることで、実用化に向けたさらなる作成コストの削減を進めていきたいと考えている。