

漁場生産力向上のための漁場改善実証試験

齋浦耕二・牧野賢治・西岡智哉・平野 匠

近年、栄養塩濃度の低下に伴いノリ、ワカメの色落ちが頻発している瀬戸内海において、藻類養殖に必要な栄養塩を供給し栄養塩環境を改善するための手法開発及び実証試験を実施する。また、養殖漁場周辺の環境モニタリングを実施することにより、適正な栄養塩供給による漁場改善技術の効果を実証する。

本事業は漁場生産力低下の原因解明と実証試験から構成され、本県はノリ、ワカメを調査対象とした。

漁場生産力低下の原因解明

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、海水中の栄養塩濃度等の現場観測を行うとともに、養殖ノリ・ワカメの生産状況と栄養塩濃度等を比較解析することにより、海域の栄養塩濃度とノリ・ワカメ生産力との関係を明らかにする。

材料と方法

徳島県の播磨灘から紀伊水道のノリ・ワカメ漁場の位置および調査点を図1に示した。ノリ養殖漁場15点、ワカメ養殖漁場18点において、2013年10月から2014年3月末の

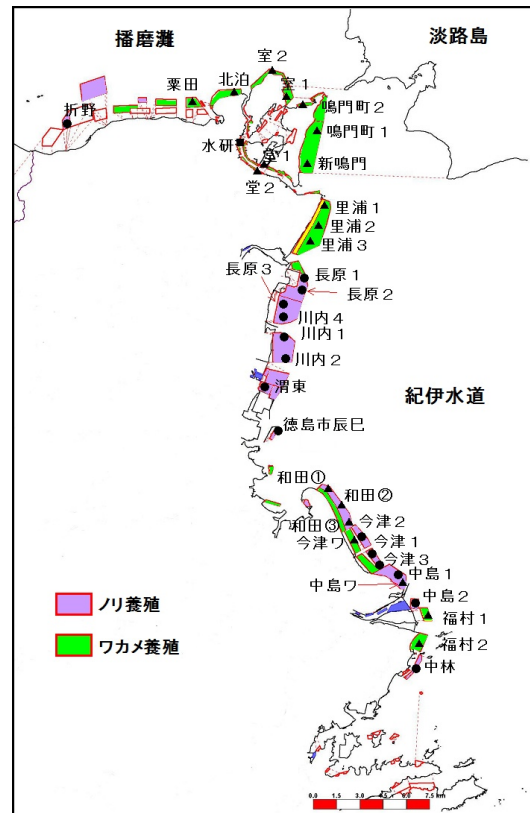


図1. ノリ・ワカメ養殖漁場と調査地点

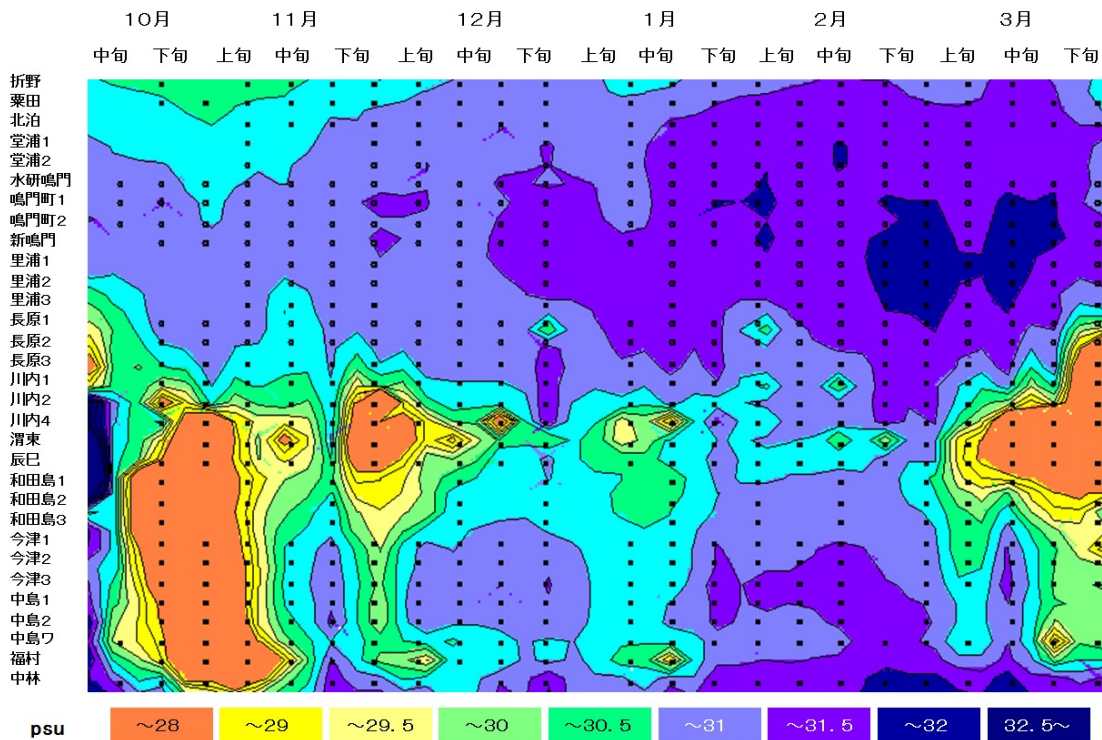


図2. 2013年漁期の塩分コンター

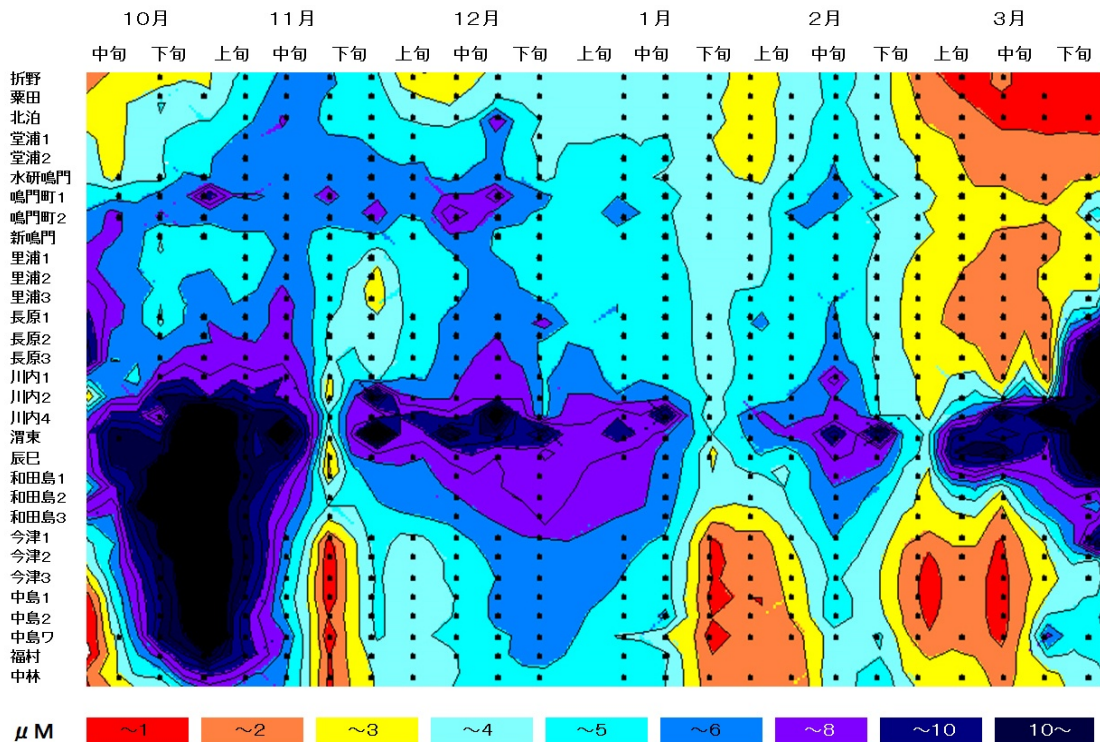


図3 . 2013年漁期のDINコンター

間，原則毎週水曜日に調査を実施した。

徳島県海苔研究部員及びワカメ養殖業者が採取した養殖漁場の表層水の塩分，無機溶存態窒素（DIN）及び植物プランクトン密度を調査した。塩分測定にはデジタルサリノメーター（MODEL3-G：鶴見精機社製）を用いた。また，試水をGF/Cフィルターで濾過した後，自動流れ分析装置（swAAt：ピーエルテック社製）で栄養塩濃度を分析した。植物プランクトンのうち，*Coscinodiscus wailesii*，*Coscinodiscus sp.*，*Eucampia zodiacus*の計数を行った。

養殖ノリ・ワカメの生産状況の把握および藻体の色合いの指標となるSPAD値は，図1に示した調査地点のうち播磨灘の折野（ノリ），粟田（ワカメ）で行った。SPAD値は，栄養塩濃度調査日前後（1週間毎）に収穫された葉体サンプル（ノリの場合は加工された板ノリを含む）を水産研究課に持ち帰り，葉緑素計（SPAD-502 Plus：コニカミノルタ社製）で計測した。板ノリでは1枚を測定ヘッド部にはさんで測定（板ノリ）した。原藻ノリでは，水分を含んだ原藻1g～5gを丸めた状態で測定ヘッド部にはさんで測定（原藻ノリ1）と原藻1枚を2つ折りに重ねて測定ヘッドにはさみ測定（原藻ノリ2）した。ワカメに関しては葉長を測定するとともに，葉先から基部へ1/4の部分（ワカメ先端部）と葉基部から上端1/4の部分（ワカメ基部）の2カ所を測定した。

結果

2014年2月末までの塩分，DINの調査結果をコンター図で示した（図2，図3）。

塩分は，漁期はじめの10月下旬から11月上旬には，降雨の影響から全域で低下した。特に川内以南の吉野川河口周辺海域，紀伊水道南部海域では25を下回った。同海域では1月下旬まで31を下回る低塩分の傾向が続いた。播磨灘，紀伊水道北部海域では12月下旬以降は31.5を超え，2月下旬には32を超える地点が見られた。3月に入り吉野川河口周辺から南の海域では28を下回る地点が拡大した。

DINは，漁期はじめの低塩分海域では10 µMを超える地点が見られた。紀伊水道南部海域では11月下旬，1月下旬，2月下旬に1 µMを下回る地点が見られた。これらの地点では*Skeletonema sp.* もしくは *Chaetoceros sp.* が1cc当たり2千細胞程度出現した。例年なら播磨灘・紀伊水道北部や紀伊水道南部海域では1月から3 µMを下回る貧栄養の海域が広がる。今漁期は一時的に3 µMを下回る時期もみられたが，極端な貧栄養化した海域は見られていない。ただし，2月26日の調査で，播磨灘の一部海域で2 µM，紀伊水道南部海域で1 µMを下回る地点が多く見られた。3月中旬以降は，吉野川河口周辺海域以南では3 µMを超える値まで回復した。

植物プランクトンのうち，*Coscinodiscus wailesii* は例年なら11月上旬を中心に12月上旬まで1,000cc当たり500細胞を超えて出現する。今漁期はこれまでのところほとんど

の地点で0細胞であり、出現しても100～200細胞の地点が散在するのみであった。*Eucampia zodiacus* は、例年なら12月下旬から出現しはじめ、1月上旬から2月中旬には1cc当たり400細胞を超える。今漁期は2月中旬までほとんど出現していなかったが、2月19日には1cc当たり10細胞を超える地点が見られはじめ、2月26日には、多くの地点で50～100細胞出現している。3月12日には50～750細胞まで増加し、その後減少して3月26日には1細胞以下となった。

こういった栄養塩および植物プランクトンの動向から、今漁期は2月末の時点では、ノリ・ワカメとも昨年漁期のような極端な「色落ち」現象は見られていない。そのため、各測定日の平均SPAD値は、板ノリでは、測定開始日の12月18日から2月16日の間は58.8～72.0で変化はなかったが、2月26日には54.1へと低下した。そして生産終了時の3月12日には22.9まで低下した。原藻ノリ1では測定開始日の12月11日から2月26日の間71.5～90.3で、2月26日に板ノリで見られたようなSPAD値の低下は見られなかった。

しかし生産終了時の3月12日には32～46まで低下した。また、原藻ノリ2では測定開始日の1月29日から2月16日の間は6.8～9.1であり、2月26日には6.6へとわずかに低下した。そして生産終了時の3月12日には1以下にまで低下した。原藻ノリ1の測定方法は荒いため、細かな変化は測定できないと思われる。また、原藻ノリ2の測定方法は、測定するノリ葉体の厚みを考慮していないため測定値に反映し難いと思われる。ワカメでは先端部で16.3～18.0、基部で11.6～14.4であり、色落ちの目安となるSPAD値10を下回る測定値のサンプル葉体はほとんどなかった。今後、「色落ち」現象が進んだ場合の測定値の変化を引き続き見ていく。

実証試験

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各種施肥剤を用いた施肥試験を行い、その後の無機態窒素の動態を把握するとともに、藻体細胞の状態、SPAD値及び生長量等のデータを取得する。これらより、ノリ・ワカメ養殖業者へ効果的な施肥方法を提案する。

多くの海藻類は $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ を同時に吸収することができるが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は吸収された後に関連酵素により $\text{NH}_4\text{-N}$ にまで還元されなければならず、同化するまでに多くのエネルギーが必要となる。また、多くの海藻類では $\text{NH}_4\text{-N}$ の方が $\text{NO}_3\text{-N}$ よりも速やかに吸収される(吉田ほか2011)。

当面の施肥試験は、農業用の緩効性肥料を用いることとしている。このため、緩効性肥料の1つであり $\text{NH}_4\text{-N}$ を溶出する被覆尿素肥料(特殊加工した膜で粒状尿素をコーティングした肥料)であるジェイカムアグリ製のLPコート(直線型溶出タイプ)を使用して試験を行った。この肥料

には25の土壤中で窒素が80%溶出する日数別に各タイプ(20～270日)がある。これらの海水中での溶出具合を調べるため各種の溶出試験を行った。また、これら施肥剤を養殖施設に垂下するための充填容器の検討およびこれらノリ・ワカメ養殖漁場にて垂下して、問題点・改良点を整理した。

(1) 室内水槽での溶出試験

材料と方法

LP40, LP70, LP100, LP140, LP270(LP数字:数字は溶出日数を示す。)各3.00gを別々にネット(ストッキング水切りネット コーナン社 KHM05-8074)に入れたものを7セット用意した。水産研究課内の濾過海水を掛け流した水槽(90リットル水槽,水深30cm 注水量:1分間当たり5リットル)に垂下,各セットを5,10,20,40,60,80,100日後に取り上げた。その後,軽く水洗いして,シャーレに入れて40で約1ヶ月乾燥したのち計量して窒素の溶出量を計算した。計算には,本間利光ほか(2002)の被覆尿素の重量変化率と窒素溶出率の関係式 $Y = 1.20X$ (Y:溶出率%, X:重量変化率%)を用いた。

なお,本試験は水温25前後となる2013年7月4日と実際に施肥を行う水温10前後となる2014年1月10日を開始日として2回行った。

結果

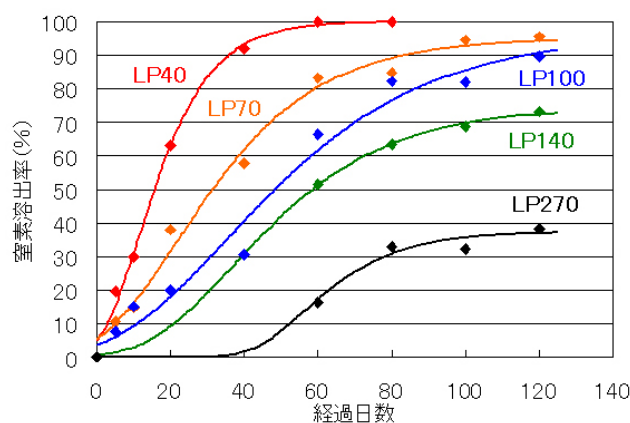


図4. 窒素溶出率の推移(試験開始日:2013年7月4日)

7月4日に開始した各LPコートの溶出試験の経過日数と窒素溶出率の関係にGompertz曲線を適用した(図4)。40日目までの平均水温は24.6であった。LP40, LP70, LP100での80%溶出するまでの日数は,28,60,86日であった。海水中では土壤中と比べて若干早く溶出する傾向がみられた。なお,減少重量を測定するため,40の乾燥で恒量に達するには1ヶ月程度を要した。

1月10日に開始した試験は現在進行中である。LP40での10日目の重量減少率は8%であり,25の37%と比べて大

幅に溶出率が低下した。

(2) 充填容器および充填量の検討

方法

被覆尿素肥料のLPコートは、直径3～6 mm前後の顆粒状であり、顆粒の表面は被覆剤のポリオレフィン系樹脂でコーティングされており、これは最後まで海水中に溶出ししない。施肥剤として養殖現場で使用したのち、残物は回収する必要がある。そのため、肥料は容器に充填し、それを養殖施設に垂下して、最後に充填容器を回収することを考えている。

ノリ養殖の収穫は「刈り取り船」によるため、その作業に支障のない形状の容器とする必要がある。一方、ワカメ養殖の収穫作業は手作業で行うため、容器の形状は、その作業性にあまり影響を与えないと思われる。

ノリの充填容器は、円柱メッシュ（プロテクター タバ



図5 . ノリ用充填容器

タ AP-248 材質：ネオプレーン 内径34mm×長さ850mm)の両端に塩ビキャップ（積水化学工業 TSC25）を装着したものを試作した。この容器の塩ビキャップに穴を開けて結束バンド（オーム電機 LT-200）を通した。これをノリ網の浮子網に沿わせるように両端で固定した。また、円柱メッシュの中央付近も結束バンド（オーム電機 WLT-300）で浮子網に固定した（図5）。



図6 . ワカメ用充填容器

ワカメの充填容器は、ザル（イケダD×丸ザル3号外形260mm×高さ90mm）2個を合わせて球体状にしたものを結束バンド（オーム電機 LT-100）で8カ所を固定したものを試作した。これを網袋（ポリエチレン網地（60本7節））に1球ずつ入れてワカメ養殖ロープに垂下する（図6）。

充填容器に充填する肥料の重量を検討するため、LP40の充填重量を違えた4つの充填容器をそれぞれの種類で作成した。2013年11月8日から12月19日の間、水産研究課前の小鳴門海峡に設置した養殖試験施設で試験を行った。

ノリは、表層の浮子網（長さ10m）に等間隔で4つの充填容器を装着した。ワカメは幹縄（長さ10m）に4つの充填容器および一部養殖場で用いられているポリエチレン製のPP450 22/15の袋（縦43cm×横33cm）にLP40を入れて1m水層前後に等間隔で垂下した。

実験終了後に、それぞれの容器内からLP40の顆粒100粒（試験開始時の重量3.00 gと仮定）を取り出し、先の方法で乾燥させ重量の減少割合を測定した。

結果

試験期間41日間の平均水温は、16.7 であった。

ノリ用充填容器では500 g（充填割合100%）、375 g（同75%）、250 g（同50%）、125 g（同25%）を充填したものの重量減少率は、59%、46%、41%、36%であり、充填重量が少ないほど溶出率が低下した。

ワカメ用充填容器では4.4 k g（充填割合100%）、3.3 k g（同75%）、2.2 k g（同50%）、1.1 k g（同25%）およびポリエチレン製袋に2 k gを充填したものの重量減少率は、それぞれ58%、50%、50%、56%および34%であった。ワカメでは充填重量と重量減少率の間には明確な差はなかった。しかし、養殖現場で使われているポリエチレン製袋は、今回試作した充填容器にくらべて重量減少率は低かった。

(3) ノリ・ワカメ養殖漁場での垂下試験

方法

ノリ用充填容器は、LP40を1容器当たり500g充填したものの40本を作成、ワカメ用充填容器は、LP40を1容器当たり2.2 k g 充填したものの36個を作成した。これらを漁業者に協力いただき、実際の養殖施設に設置して、容器の取り付けの作業性、容器の耐久性、施肥効果等を検討した。

結果

ノリ用充填容器は、2014年2月1日に播磨灘折野港沖の区

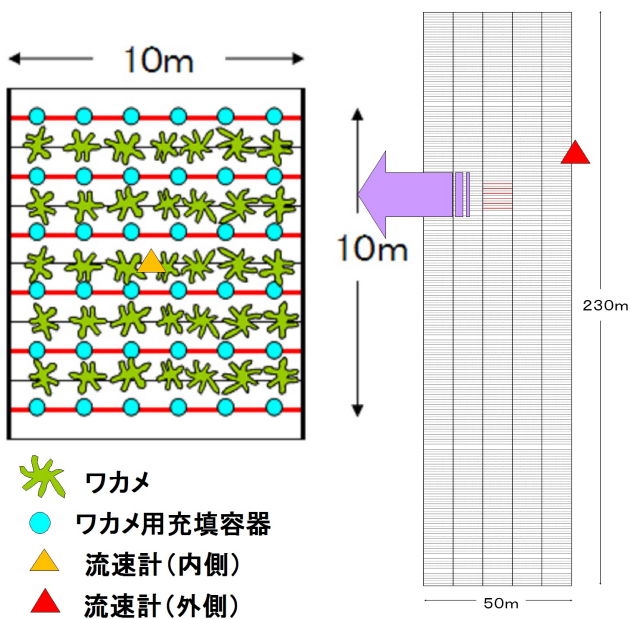


図7 . ワカメ養殖施設とワカメ用充填容器と流速計の設置

画漁業権(免許番号4)内のノリ養殖施設に設置した(緯度N34°14.264, 経度E134°28.664)。設置方法は、ノリ網(幅1.7m, 長さ19m)から左右約35cm離れた浮子綱(長さ20m, 浮子数11個, 浮子間隔1.8m)に充填容器20本, 左右合計40本を取り付けた。

ワカメは、2014年2月17日に播磨灘粟田漁港沖の区画漁

業権(免許番号11)内のワカメ養殖施設に取り付けた(緯度N34°14.429, 経度E134°32.582)。

今回の試験に協力いただいた北灘漁協の漁業者のワカメ養殖施設では、ワカメが着生した養殖用ロープ(長さ50m)が、1m間隔で231本並べられている。養殖用ロープは、補助ロープ(10m間隔)でそれぞれが結ばれている。

収穫がはじまると、養殖用ロープは1本おきに抜き取られ、陸上に揚げられワカメは刈り取られる。このため収穫が進むと、養殖用ロープは2m間隔で並ぶことになる。今回は、施設の中央部付近で抜き取られた養殖用ロープを補充するように、充填容器6個を垂下した幹綱(長さ約10m)6本を補助ロープに結び付けた(図7)。幹綱の水層は1~1.5mであった。

ノリでは充填容器を1本毎に浮子綱に装着する作業は非効率であり、事前に充填容器を連結したものを浮子綱に装着するほうが効率的であると思われた。ノリ, ワカメとも試作した充填容器の形状はしっかりしている。それを多数連結したものを陸上および船上で取扱う作業は面倒であり、ナイロンモジ網等のやわらかい素材で作成した充填容器の方が取扱い易く作成経費も安価になると思われた。また、ワカメでは抜き取られた養殖用ロープを補充するように充填容器を配置したが、直接養殖用ロープに接するように充填容器を垂下するほうが、ワカメ葉体により近く施肥

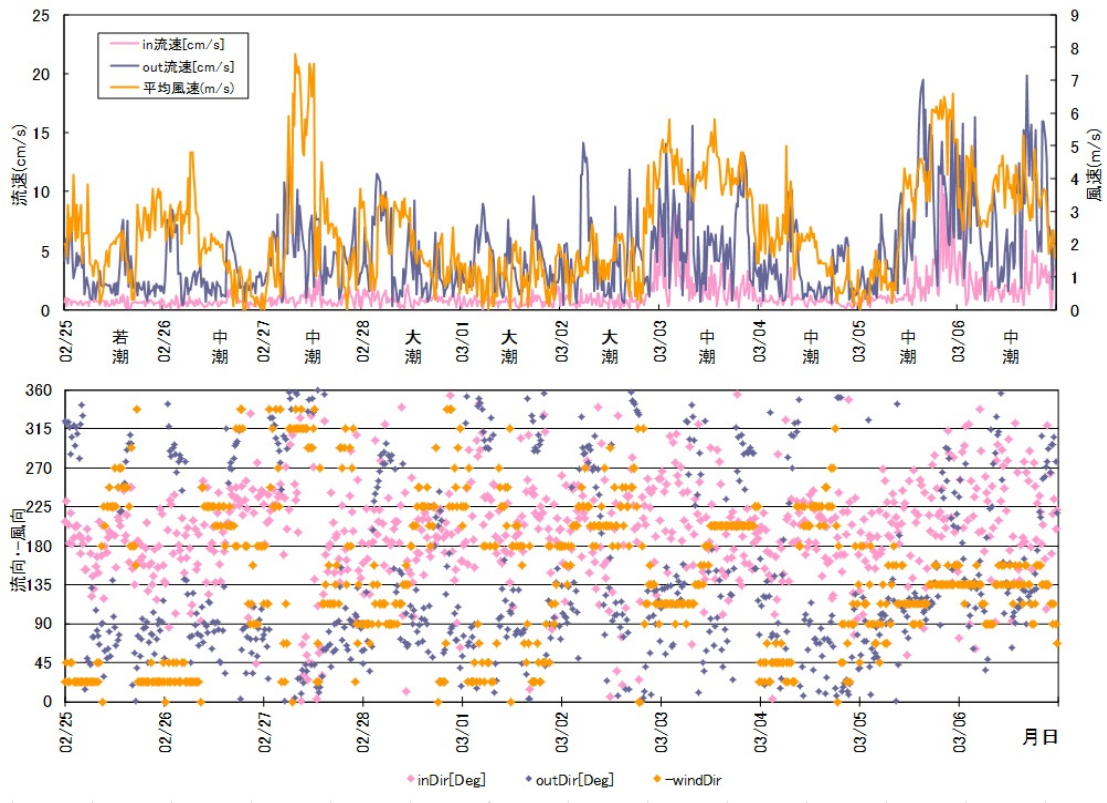


図8 . ワカメ養殖施設の内と外での流速と引田アメダスの風速の関係

効果が期待できると思われた。

いずれの充填容器とも今漁期末まで設置して、その耐久性、施肥効果を見ていく。

(4) ワカメ養殖漁場での流況把握

また、流速計（JFEアドバンテック製 AEM-HR）をワカメ養殖施設の内部および外枠ロープに設置した（図7参考）。養殖施設内部は、ワカメ幹縄のワカメ株と株の間に設置した。インターバル1sec, Burst time 20min, Sample count 10の設定で、2月24日から3月7日の間設置した。収穫の関係で、一潮（15日）設置することができなかった。

2月25日から3月6日までの測定結果と引田アメダスの風速データを図8に示した。なお、風向は流速と正負が逆になる（北風は、北からの風であり南へ流れ去っていく）。そのため、流向に合わせるため風向は180° 反対にして表示した。

2月25日から3月1日までの流速を見ると、大潮であるにもかかわらず施設内では1cm/secを超えることはほとんどなく、平均0.74 cm/secであった。この間の施設外の流速は3.9 cm/secであった。2月27日には7m/secを超えたが、南からの風であったため、施設内の流速にほとんど変化はなかった。3月2日以降は北西もしくは北東の風が4m/secを超える日があり、ワカメ養殖施設内でも5 cm/secを超える値が見られた。

図9に2月25日から3月1日まで流速データから進行ベクトルを示した。ワカメ株と株の間に設置したこともあり、施設内では東西方向の流れがなく、施設外と逆で南南西方向へ流れていく結果となった。

ワカメ養殖施設内の流速を計測することで、ワカメ葉体（漁期末には葉長が2m～3mとなる）による施肥剤から溶出したNH₄-Nの拡散防止効果を見ていく。

事業推進上の問題点

事業初年度では被覆尿素肥料であるジェイカムアグリ製LPコート（直線型溶出タイプ）の40日溶出タイプを中心に試験を行った。現在、結果をとりまとめ中であるが、ワカメ・ノリ養殖を行うような低温では溶出し難いことが予想

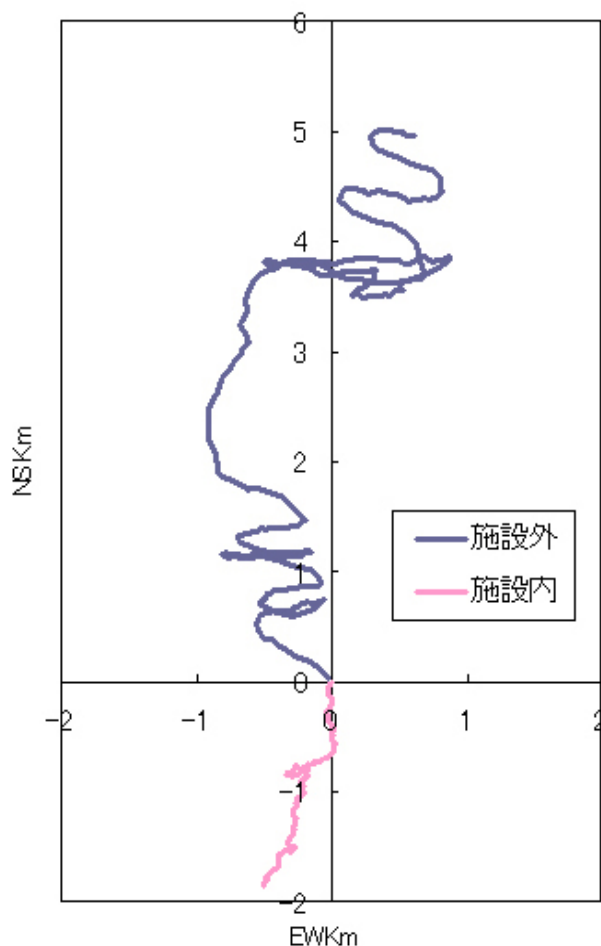


図9．進行ベクトル（2014年2月25日～3月1日末）

される。今後は、低温（10 前後）で40日間に溶出するタイプの肥料で試験を行う必要がある。

参考文献

本間利光・白鳥豊・門倉綾子・星野卓（2002）砂丘地ダイコン栽培における環境保全的施肥法の検討．新潟県農業総合研究所研究報告，5: 11-19

斎浦耕二（2013）コンター図から見た藻類養殖場の栄養塩．徳島水研だより，84: 1-5

吉田吾郎・新村陽子・樽谷賢治・浜口昌巳（2011）海藻類の一次生産と栄養塩に関する研究レビュー．水研センター研報，34: 1-31