

(資料)

## 佐賀県有明海で実施されている栄養塩添加の現状

川村嘉応・久野勝利・横尾一成

## Present of Fertilizing in the Ariake Sea off Saga Prefecture (Material)

Yoshio KAWAMURA, Katsunori KUNO and Kazunari YOKOO

## I. 栄養塩添加実施に至った経緯

## 1. 歴史

栄養塩添加とは、養殖ノリや天然で生育するアマノリ類が海水中の栄養塩不足によって、葉体の色調が退色する、すなわち色落ちが発生したときに、海水中に栄養塩\*を添加し色落ちを回復させ乾海苔の品質を向上させる技術を指している。その歴史は古く、明治42年に出版された「浅草海苔」の中で岡村<sup>1)</sup>は、肥料試験を行って窒素の必要性と河川水の有効性を記述している。その後も栄養塩添加については、全国で研究が行われるとともに、戦後は頻繁に実施された。佐賀県における栄養塩添加は、昭和36年に尿素複合液肥料、ノリフードを用いて漁場に散布する方法(漁場散布法)で始まった。昭和49年から59年までの栄養塩添加については、塩安、窒化リン等を用いて河川に投入する方法(河川投入法)で実施され、その成果は昭和54年に宮崎<sup>2)</sup>によってまとめられている。この河川投入法については、栄養塩添加効果は認められたものの、植物プランクトンが多いときには効果が期待できないことや、環境への負荷の問題などもあって実施されなくなった。昭和60年になると、栄養塩添加剤を入れた容器を網の周りに浮かせた状態で吊り下げて徐々に栄養塩を溶出させる方法(ウキウキ(表層浮動法))が旧、三井東圧(株)によって開発され、平成4年(平成2、3年は未実施)まで実施された。しかし、この方法も採算が取れず、効果も充分でなかったことから実施されなくなった。

この間には、実施体制の組織作りも行われ、昭和54年に水産振興課長(現、水産課長)を会長とし、有明海漁連会長(現、漁協組合長)、水産試験場長(現、センター所長)、4地域協議会会長(現、漁協支所、運営委員長)で組織された「施肥事業連絡協議会」が発足し、本会発

足後の栄養塩添加については、この協議会で検討され認められたのち実施されていた。

平成9年度になって、従来、秋芽網期には増殖の少なかった植物プランクトンが増殖するようになり、平成10年には秋芽網期から珪藻類が増殖し、特に西部漁場において極度の栄養塩不足がおきた。そのため、再び栄養塩添加の実施が要望され、急遽、施肥事業連絡協議会の承認のもとに平成10年12月19日から実施された。この時の方法としては、表層浮動法では効果が期待できないことから漁場散布法を、栄養塩の素材としては、ノリ葉体を赤めにする、海水に溶けない、水温が急激に下がる、魚毒性が強い、値段が高い、漁業者から塩安を使うと珪藻が増えるとの提言があったことなどから塩安でなく、安価ですぐに入手できる硫安が用いられた。さらに、冷凍網期の極端な栄養塩不足に対し、12月22日に開催された施肥事業連絡協議会において硫安、硝安を用いることを決定し、2回目以降の栄養塩添加実施量・方法等の協議も行って栄養塩添加は継続実施された。以後、表1に示すように窒素塩添加を実施するにあたり、国への協議、報告を行って栄養塩添加の実施体制を構築しながら、現在に至っている。また、実施体制の組織としては、官の主導で行ってきた「施肥事業連絡協議会」にかわって、漁業者が主体となって実施するために、鬼頭鈞水産大学校名誉教授を会長、漁協専務を副会長とする「佐賀県有明海ノリ漁場環境改善事業連絡協議会」(以下、「栄養塩添加連絡協議会」)を平成11年8月17日に発足した(学識経験者(3名)、有明海漁協(2名)、県庁水産関係(2名)、地区協議会代表(7名)、事務局(漁協))。本協議会は、現在も栄養塩添加事業を円滑に実施していくために、栄養塩添加方法や栄養塩添加剤などが検討されている。

\*: 有明海の場合、色落ちの原因は海水中の窒素不足であるため、それを回復させるためには、窒素塩の添加が必要である。

表1 平成10年度以降の窒素塩添加が養殖技術として確立するまでの協議の経緯と内容

協議日等	協議相手	協議者	内 容	回 答
H11. 1.11	三池海上保安部	漁連・県	栄養塩添加実施に関する協議	適正な方法での栄養塩添加行為は関係法令に抵触しない
H11. 1.13	九州漁業調整事務所	漁連・県	栄養塩添加実施に関する協議	福岡県にその旨連絡するよう指示をうける。
H11. 1.14		漁連・県	三池海上保安部に対し栄養塩添加についての見解報告（電話）	第七管区本部を経由して本庁まで照会したもの・適正な方法での栄養塩添加行為は、関係法令には抵触しない。
H11.10.25	三池海上保安部	漁連・県	窒素塩添加に関する協議	
H11.11. 5	三池海上保安部		九州漁業調整事務所によるノリ養殖管理の実態ヒアリング実施	
H12.10.26	三池海上保安部	漁連・県	漁連・県は三池海上保安部と窒素塩添加に関する協議	
H13.11. 8	三池海上保安部	漁連・県	漁連・県は三池海上保安部と窒素塩添加に関する協議	

## 2. 栄養塩添加が生物・環境に及ぼす影響

### (1) 栄養塩添加剤の生物に与える影響

今までに実施された主な試験研究の結果（概略）は、次のとおりである。

・栄養塩添加に使用されている硝安の水産生物に対する影響を把握するために、窒素濃度に換算し、5,000  $\mu\text{g}/\text{l}$ 、25,000  $\mu\text{g}/\text{l}$ 、50,000  $\mu\text{g}/\text{l}$  の濃度で約12日間水産生物を飼育し、その生残を調べた。5,000  $\mu\text{g}/\text{l}$  ではタイラギ、アサリ、アゲマキ、シバエビ、シャコは硝安の影響による斃死は見られなかった。25,000  $\mu\text{g}/\text{l}$  ではタイラギ1才貝で斃死が見られ、50,000  $\mu\text{g}/\text{l}$  の濃度では、タイラギ0、1才貝、アサリ、シバエビでは斃死が見られ、硝安の影響が認められたが、アゲマキ、シャコでは斃死は見られず硝安の影響は認められなかった<sup>3)</sup>。塩安1,000ppm濃度に浸漬した場合のそれぞれの生物が死滅するまでに要した時間は、表2のとおりであったことから、栄養塩添加によって生物が死滅する条件としては、高濃度液に相当の時間浸漬する必要があることが明らかであった<sup>3)</sup>。

・タイラギの鰓換水量に及ぼす硝安の影響をみると、硝安50ppmの濃度では影響はみられない<sup>4)</sup>。

・硫安の濃度が159ppm以下では、タイラギは12日後も100%生残した<sup>4)</sup>。

・栄養塩添加剤である硝安に対して実験したいずれの濃度でもシバエビとセイゴ・スズキは忌避反応を示さなかった。硝安はこれらの魚の味覚と嗅覚を刺激しない物質である可能性がある<sup>5)</sup>。

・塩安や硫安に24時間浸漬した場合のそれぞれの生物の生残に及ぼす影響については、表3のとおりで、非常に高い濃度において影響があるものの、その濃度は通常海水ではみられないレベルと考えられた<sup>6)</sup>。

○ノリ養殖期間中、湾奥部の海域の窒素濃度は、溶存態無機窒素量(DIN)で300  $\mu\text{g}/\text{l}$ 以下が通常濃度であり、ノリ養殖における栄養塩添加は、100  $\mu\text{g}/\text{l}$ に不足する量を添加して実施されている。したがって、有明海の潮流、潮汐の特徴から、生物への影響がないとされた値の最高値5,000  $\mu\text{g}/\text{l}$ が継続しないと推測されること、栄養塩添加後の海域調査において、5,000  $\mu\text{g}/\text{l}$  (5

表2 塩安1,000ppmに浸漬した場合の影響

	魚貝名						
	メナダ	ハゼクチ	ムツゴロウ	トビハゼ	モガイ	アサリ	アシハラガニ カクベンケイ
味の素塩安(分)	17	50	85	60	120	120	180 < NT
全農製塩安(分)	15	NT	NT	NT	NT	210	NT 300

数値は生物が死滅するまでに要した時間(分)

表3 塩安、硫安に24時間浸漬した場合の影響

	魚貝名							
	メナダ	ハゼクチ	モガイ	アサリ	タイラギ	カクベンケイ	シバエビ	コウライエビ
塩安(ppm)	50(20)	50(50)	500(50)	100(20)	NT	100(25)	NT	NT
硫安(ppm)	NT	NT	4,400以上	2,800	4,400以上	NT	500以上	500

( ): 斃死率: %

ppm)の観測事例がないこと、および先述した試験研究結果から、ノリ養殖期間中の栄養塩添加が、硫酸や硝酸などの栄養塩添加剤を完全に溶解して散布した場合(適正使用)には、生物に与える影響は少ないものと考えられた。

## (2) 栄養塩添加剤の環境に与える影響

### 1) 栄養塩添加による窒素負荷量および乾海苔による窒素の取り上げ量との比較

平成10年度以降の窒素塩負荷量は表4に示すように、合計で2,826.4トン、平均負荷量は235.5トンであった。いっぽう、生産された乾海苔に含まれる窒素量を海から取り上げた窒素量\*\*として、換算すると、表5に示すよ

表4 これまでの栄養塩添加による窒素負荷量

年度(平成)	添加窒素量(トン)
21	321.2
20	113.7
19	0
18	26.2
17	145.2
16	234.9
15	274.4
14	320.4
13	82.3
12	239.4
11	372.9
10	695.8
合計	2,826.4
年平均	235.5

表5 海苔の生産枚数と取り上げ窒素量

年度(平成)	生産枚数(百万枚)	取り上げ窒素量(トン)
21	1,788	366.3
20	1,965	402.6
19	2,145	439.4
18	2,130	436.4
17	2,157	441.9
16	1,927	394.8
15	1,645	337.0
14	1,425	291.9
13	1,803	369.4
12	989	202.6
11	1,452	297.5
10	1,723	353.0
合計	21,149	4,333
年平均	1,762	361.1

うに合計で4,333トンであった。すなわち、平成10年度から21年度までの結果から、乾海苔として陸上に取り上げられた年平均窒素の総量(361トン)は、栄養塩添加量(235トン)よりも多くなっている。

\*\*：生産枚数から求めた取り上げ窒素量は、1枚当り3.3g、窒素含有量は6.208%として換算した。

(例)平成20年度 生産枚数 1,965百万枚  
 $1,965,000,000 \times 3.3 \text{ g} \times 0.06208 = 402,558 \text{ kg} = 402.6 \text{ トン}$

### 2) 自然の栄養塩負荷量との比較

有明海湾奥部に1年間で流入する窒素量は、筑後川からの流入水量が $117 \text{ m}^3/\text{秒}$ (昭和44-平成12年までの平均値：(独)水資源機構筑後川局大堰管理所)であり、筑後川からの1日あたり流入推定量は $10,108,800 \text{ m}^3/\text{日}$ ( $= 117 \text{ m}^3/\text{秒} \times 60 \text{ 秒} \times 60 \text{ 分} \times 24 \text{ 時間}$ )と試算される。また、筑後川からの流水に含まれる無機態窒素量(各月毎の平均毎に計算)は $1,000 \mu\text{g}/\text{l}$ と推算されており、結果として筑後川からの無機態窒素量の年間流入量は $3,690 \text{ トン}$ ( $= 1 \text{ g}/\text{トン} \times 10,108,800 \text{ m}^3/\text{日} \times 365 \text{ 日}$ )となり、有明海湾奥部への河川からの無機態窒素の流入量は $7,380 \text{ トン}$ ( $= 3,690 \text{ トン} \times 2 \text{ 倍}$ (筑後川流入量の2倍))と試算される。したがって、河川から流入する窒素量を $7,380 \text{ トン}/\text{年}$ と仮定すると、栄養塩添加量はその約3.2%である。しかしながら、ノリ漁期(11~3月)の河川流量としては、約 $40 \text{ m}^3/\text{秒}$ であるので、流入推定量は $3,456,000 \text{ m}^3/\text{日}$ ( $= 40 \text{ m}^3/\text{秒} \times 60 \text{ 秒} \times 60 \text{ 分} \times 24 \text{ 時間}$ )、ノリ漁期(151日)中に有明海に流入する窒素量としては、 $522 \text{ トン}$ となり栄養塩添加量はその45%に相当し、この時期に限って試算すると大きな値を示している。

いっぽう、ダムやクリークからの放水は、河川水による珪藻の増殖阻害や栄養塩添加として利点があるものの、河川水には、珪酸が含まれていることから珪藻を増殖させるトリガーになりかねない。したがって、現時点での色落ち対策としての栄養塩添加は、珪藻類の増殖因子の1つでもある珪酸塩が含まれない組成である硝酸の使用が最適であると考えられる。

### 3. 栄養塩添加を実施する上での法的な根拠

栄養塩添加そのものは、産業上必要な行為であるため法令上は産業上の行為とみなされ、海洋汚染防止法\*\*\*、産業廃棄物処理法\*\*\*\*には抵触しないと考えられる。ただ、海洋汚染防止法では、未溶解栄養塩添加剤は、規制対象となる場合があるので、栄養塩添加の実施にあたっては完全溶解であることが重要である。

\*\*\*：海洋汚染防止法 一未溶解栄養塩添加剤一 規制対象となる場合がある。  
 ・海上投棄に関する条項（第三章 第十条）  
 何人も、海域において、船舶から廃棄物を排出してはならない。  
 これは適用しない⇒輸送活動、漁ろう活動その他の船舶の通常の活動に伴い生ずる廃棄物のうち政令で定めるものの排出であつて、排出海域及び排出方法に関し政令で定める基準に従つてするもの  
 ・罰則（第八章 第五十五条）  
 次の各号の一に該当する者は、千円以下の罰金に処する。三 第十条第一項の規定に違反して廃棄物を排出した者  
 \*\*\*\*：産業廃棄物処理法 一未溶解栄養塩添加剤一 規制対象とならない。  
 ・投棄に関する条項（第四章 第十六条）  
 何人も、みだりに廃棄物を捨ててはならない。  
 ・罰則（第二十五条）  
 次の各号のいずれかに該当する者は、5年以下の懲役若しくは100万円以下の罰金に処し、又はこれを併科する。  
 9. 第16条の規定に違反して、廃棄物を捨てた者

## II. 栄養塩添加の実施基準および方法

### 1. 実施にいたるまでの手続き

栄養塩添加は、図1に示すように、まず地区協議会において事業計画案を作成したのち、栄養塩連絡協議会に提出し、同協議会で栄養塩添加の必要性を総合的に検討、了承されたのち実施される。

### 2. 窒素塩添加の時期およびその決定

添加時期はノリ養殖期間中、無機態窒素濃度が低下し、ノリの色調低下が著しく生産の継続が困難と判断される時とし、その決定は地区協議会から提出された窒素塩添加計画書およびセンターからの無機態窒素濃度と植物プランクトンの動向資料等をもとに、連絡協議会において総合的に検討し、ノリの色調回復に効果が得られると判断した場合に限るものとしている。

具体的には、色落ち判定カードにより2.5レベル以上になれば色落ちと判断される。

## 3. 実施方法

現在の栄養塩添加の方法は、下記のオーバーフロー方式に限定し、窒素塩を完全に溶解し、海域を航行しながら散布する。その際、センターのモニタリング調査結果および潮汐等を検討し、干潮から2時間後の時間帯を中心に、センターが指示するノリ養殖の中央部から沿岸部を中心とする漁場（図2）に漁業者自らが実践する。

### ○添加方法

- ①出航前に本船イクス又は角船で窒素塩を溶解し、現場において十分な海水で希釈しながら散布する。
- ②本船のイクス利用—本船のイクスに溶解可能な窒素塩を投入し、ゆるやかに海水を入れて溶解させ、上澄み液をオーバーフローで海域に添加する。
- ③角船、コンテナ利用—コンテナにノリネットを2枚重ねの上、本船甲板上的角船の中に置き、硝安をコンテナに入れて水中ポンプでゆるやかに海水をかけ溶解、角船の縁からオーバーフローで海域に添加する。
- ④ノリ搬送用ネット利用—ノリ原藻搬送用のネット（内側に細かい目合のネットの二重構造）内に窒素塩を投入し、ゆるやかに海水を入れて溶解させ、ネットから溶出した液を海域に添加する。

## 4. 栄養塩添加量決定方法

添加量は、海域における無機態窒素濃度  $7 \mu\text{g-atm}/\ell$  ( $100 \gamma/\ell$ ) を限度にセンターのモニタリング結果に基づき事務局が指示する。その際の量を決めるときの計算方法としては、硝安を用いた栄養塩添加量決定の方法を

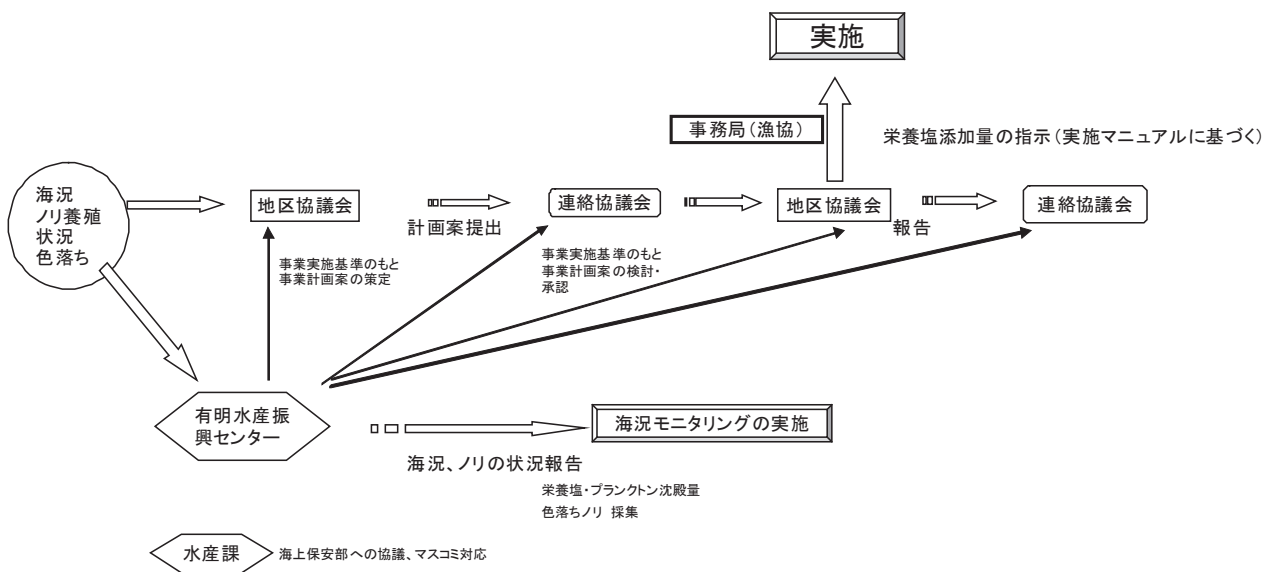


図1 栄養塩添加を実施するまでの手続き

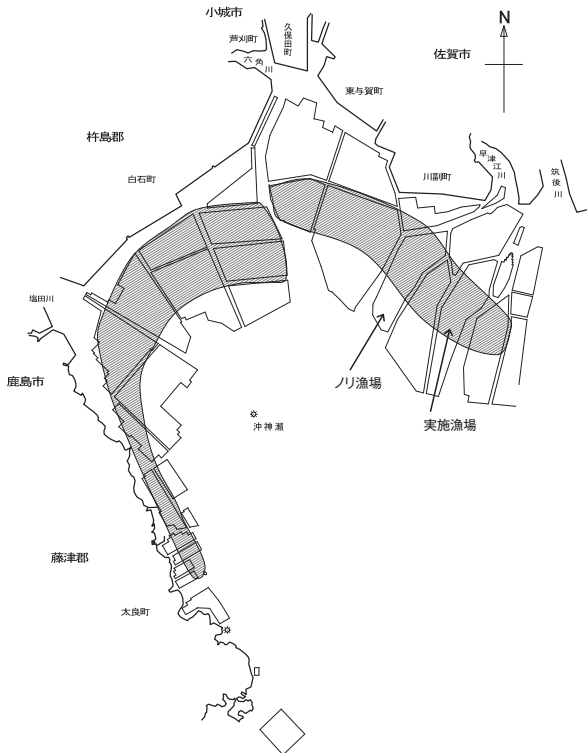


図2 栄養塩添加実施漁場

例として下記に示す。

まず栄養塩添加漁場面積(図3)は、東部地区(デンノツ〜アミアライ)を60km<sup>2</sup>、中部地区(アミアライ西から〜福富地先100間船通し)を46km<sup>2</sup>、西部地区(福富地先100間船通し〜七浦支所地先)を44km<sup>2</sup>、南部地区(たら支所地先)12km<sup>2</sup>として計算した。

⇒例えば、西部における栄養塩添加量としては、44 km<sup>2</sup> × 5 m (水深) = 220,000,000 m<sup>3</sup> (容積) であるから、容積あたりの海水中のN濃度を100 μg/l 上げるために (0.1 g/1 m<sup>3</sup> で 100 μg/l), 22,000 kg のN量が必要となる。

硝安は、分子式はNH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (分子量 = 80.04) \*\*\*\*で、この中に34.4%のNが含まれている。22トン ÷ 0.344 = 64.0トン

64トンは硝安3,200袋となるので、3,200袋を散布することとなる。この計算方法によって、投入する栄養塩添加量を実施毎に算出していく。

また、施設あたり(小間あたり)の散布量は、西部の場合を例に計算すると、西部の施設柵数が80,665(80,665 ÷ 3,200 = 25.2) であるので、2.5小間あたり1袋散布することとなる。

\*\*\*\*: 硝安 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (分子量 80.04) - (窒素含量 34.4%)  
 硫安 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (同 132.14) - (同 21%)  
 塩安 NH<sub>4</sub>Cl (同 53.49) - (同 26%)

○モニタリングと栄養塩添加量決定の根拠

モニタリング地点は図4に示すように、漁場を4地区に分けそれぞれにモニタリング地点を設けた。各地区の地点における平均値をその漁場の現在の栄養塩レベルとし、色落ちしない基準である7 μg-atm./l になるように、必要栄養塩添加量を算出する。

⇒例えば、2地点の平均が2 μg-atm./l と観測された場合には、7 - 2 = 5 μg-atm./l の添加量とし、上記の方法によって栄養塩添加量、散布量を決定する。

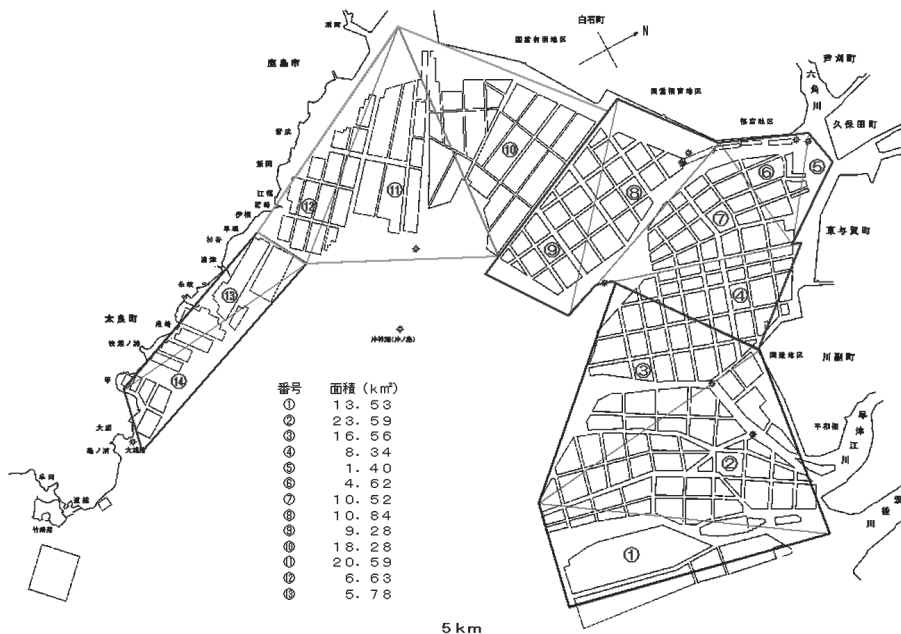


図3 栄養塩添加漁場面積



図4 モニタリング地点および地区割り

## 5. 栄養塩添加剤の供給体制および配布、保管

地区協議会は窒素塩を傘下組合員に配布する場合、その完了まで漁協支所の監視のもとに置き、組合員は速やかに窒素塩の受け取りを行うものとする。また組合員がやむを得ず窒素塩を一時自宅に保管する場合、当該原料が危険物であることを十分に認識し、消防法等で定められた袋数以下（目安：20kg×9袋）の範囲について、火気のない施設可能な倉庫等の屋内で厳重に管理する。また、組合員は窒素塩を他用途（葉面散布、摘採後の葉体等）に使用してはならない。また窒素塩が入っていた袋は完全に回収することと規制している。

## 6. 栄養塩添加実施上の留意点

栄養塩添加による色落ち回復の効果をあげるために、漁業者が必要があるから実施するという自覚を持って、漁業者全体の一齐作業として栄養塩は海水に完全に溶解し実施する。実施するタイミングとしては大潮期間中に少なく、小潮期間中に回数を多く、潮が満ち上がってくる時間帯（干潮時刻から2時間後を目処）に実施する。栄養塩添加の効果をよりあげるために、水位調整、活性処理などの養殖管理をこまめに行い、ノリの健全化を図っておくことが重要である。

## 7. 栄養塩添加剤の総量規制およびその根拠

乾海苔に含まれる窒素量は漁業者自らが努力して海中から陸上に回収していることになる。因って、①ノリの色落ちが発生し、生産に障害が生じ、且つ②植物プランクトンの濃度が低い条件下に限り、栄養塩添加連絡協議会の承認の上、下記の式で計算される窒素420トンを年間添加量の上限としてノリ漁場海水に添加する。

$$\begin{aligned} & \bigcirc 20.649 \text{ 億枚 (H16~20 年度の 5 ヶ年平均生産枚数)} \times \\ & 3.3 \text{ g (乾海苔 1 枚の重量)} \times 6.208 \% \text{ (乾海苔含有窒素量)} = 423,024 \text{ kg} \end{aligned}$$

## 8. 栄養塩添加の終了

栄養塩添加は、プランクトンの増殖（クロロフィル量で  $30 \mu\text{g/l}$  以上、沈殿量で  $50 \text{ ml/m}^3$  以上）が認められたとき、あるいは添加量が総量規制量を越えた時点で終了とする。

## III. 栄養塩添加の効果

栄養塩添加の効果は、直接的に色落ちを回復させて生じる経済効果（直接的な色落ち回復と雨が降るなど天候の回復を待つまでの期間の次の生産に繋げるための栄養塩添加とに分けられる）および栄養塩添加の存在によって生産意欲の維持効果（無理をせずに病害対策ができるなど養殖作業上、スケジュール策定上効果が出る）があると考えられる。

### 1. 従来の栄養塩添加と現在の栄養塩添加との違い

技術面では海面を高濃度にする海面栄養塩添加法にしたこと、酸処理技術によりノリの生理活性強化が行われることにより、栄養塩吸収効果が向上したこと、海水中の栄養塩濃度が低下し栄養塩添加の必要性がアップしたことが挙げられる。

### 2. 栄養塩添加の経済効果と損益分岐点について

栄養塩添加効果を当日+3日間、入札間隔は入札当日から次の入札の2日前（集荷は入札当日から入札日2日前までに摘採された乾海苔であることから）とし、色落ちすればすべての乾海苔が3円になると仮定して、下記の計算式を使って各年度の栄養塩添加による生産の効果金額を試算し、表6に示した。その結果、最大約35億円の経済効果が試算された。

$$\bigcirc \text{効果試算式} = (\text{支所の平均単価} - 3 \text{ 円}) \times \text{生産枚数} \times \text{効果継続日数} / \text{入札間隔}$$

表6 各年度における栄養塩添加の経済的効果試算

年度 (平成)	栄養塩添加効果生産金額 A (万円)	経費 B (万円)	栄養塩添加効果金額 A-B (万円)
21	362,621	14,626	347,995
20	98,021	5,160	92,861
19	-	-	-
18	30,998	681	30,316
17	238,189	3,566	234,623
16	203,450	4,595	197,953
15	209,243	6,382	202,861
14	184,226	1,038	173,848
13	37,961	1,495	36,466
12	98,021	4,575	93,446
11	139,755	1,400	125,758
10	98,021	4,575	93,446

最終的に、栄養塩添加が中止され、色落ちが始まると、生産者の意欲がなくなり網を放置することによって生産は終了してしまうので、それ以降の乾海苔の生産は皆無となる。

#### IV. 文献

- 1) 岡村金太郎 (1909) : 浅草海苔. 博文館, 東京, 374pp.
- 2) 宮崎征男 (1979) : 施肥実験がノリ生産に及ぼす効果とその判定法について. 沿岸環境変動予察手法についての研究, 295-301.
- 3) 佐賀県水産試験場 (1974) : 各種肥料の魚介類に及ぼす毒性試験, 昭和 49 年度ノリ栄養塩添加試験調査資料.
- 4) 山元憲一・半田岳志・後藤政則・伊藤史郎・川原逸朗 (2005) : リシケタイラギの換水に及ぼす硝安と酸処理剤の影響. 水産増殖, 53 (4), 391-396.
- 5) 川村軍蔵 (2007) : 硝酸アンモニウム溶液と活性処理剤に対するシバエビとスズキの反応行動, 平成 19 年度受託研究報告書.
- 6) 佐賀県有明水産振興センター (2007) : 大浦支所での栄養塩添加試験結果資料.