

泥質干潟における干潟走行機による耕耘（こう うん）の栄養塩類溶出効果に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECTS OF THE RELEASE OF NUTRIENT SALTS FROM THE SEDIMENT BY THE TILLING WITH MUD FLAT MOVE MACHINE IN MUD FLAT

沼野祐二¹・中泉昌光²・瀬戸口喜祥³・吉村直孝⁴

Yuji NUMANO, Masamitsu NAKAIZUMI, Yoshinaga SETOGUCHI and Naotaka YOSHIMURA

¹正会員 工修 (財) 漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

²正会員 (財) 漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

³正会員 工博 (財) 漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

⁴水産修 (財) 漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

Recently, nori culture in the Ariake Sea is a poor harvest. It is known that one of the factor of the poor harvest of nori culture is a shortage of nutrients required for growth of nori. Two areas on mud flat in the Ariake Sea, where one area is tilled with a mud flat move machine and another area is not tilled with it, were set up for investigation sites in this study. These data of the water quality, the sediment, and the release from sediment of two areas were compared. Consequently, it turns out that the release of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ from the sediment is promoted by the tilling with a mud flat move machine. Therefore, the tilling with a mud flat move machine was considered to be an effective method as the supply of the nutrient salts at the time of nori culture.

Key Words : Mud flat, tilling, mud flat move machine, nutrients, release

1. はじめに

近年、有明海におけるノリ養殖の不漁の原因の一つとして、ノリの生長に必要な栄養塩類の不足がいわれている。漁業者の間では台風等による高波浪が来襲した年はノリが豊漁になるといわれているが、この理由としては、干潟内に多量に存在している栄養塩類を含む底泥が、高波浪によって攪拌され、栄養塩類が溶出し、海中での濃度が上昇するためと考えられる。このことから、海域での擾乱が少ない場合には、底質を人為的に攪拌（耕耘）すればノリの栄養塩類不足が解消される可能性が期待できると考えられる。干潟の耕耘といえば、これまで貝類の潜行効率を高める目的で砂質干潟において行われてきており、有明海湾奥部のように含水比が高く軟弱な泥質干潟において耕耘の実績は無い。平成13年度冬季には、有明海に面する佐賀県北明地区地先においてノリの色落ちが発生したが、軟弱な底質の干潟上でも走行できる干潟走行機を用いて耕耘を実施した

ところ、色落ちが解消されたことから、耕耘による栄養塩類溶出効果によるものではないかと推測された。本研究では、泥質干潟において、ノリの生長に必要な栄養塩類の溶出を促進させるため、干潟走行機を用いて耕耘したことによる効果について現地実験により検証を行った。

2. 実験内容

干潟耕耘機による耕耘によって、栄養塩類の溶出を促進する効果が得られるかどうかを検証するために、現地等で底質、水質、溶出量を分析した。

(1) 実験場所

実験は、有明海に面する佐賀県北明地区地先において実施した（図-1）。本実験箇所では、満潮時に水深が約4mにもなるが、干潮時には底質が露出して広域に亘って干潟が出現する海域である。

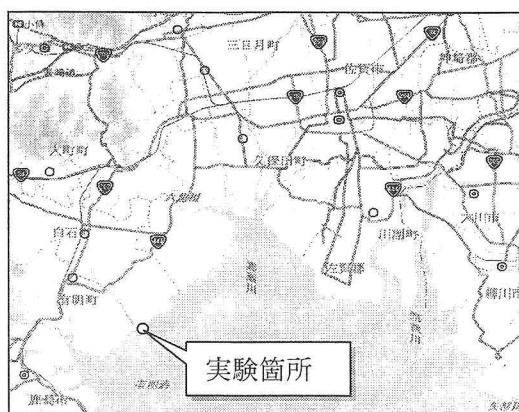


図-1 実験箇所

(2) 実験時期

実験は平成15年7月9～12日において実施した(表-1)。

なお、平成16年1月21日に底質中の栄養塩類の鉛直分布を把握するために、柱状採泥を実施した。

表-1 実験時期

項目	7/9	7/10	7/11	7/12
耕耘	○	○	○	○
底質	○	○		○
水質	○	○		○
溶出量	○	○		○

(3) 実験方法

a) 干潟耕耘

干潟耕耘は、実験期間中毎日、潮が引いて干潟が現れたときに干潟走行機の後方に取り付けた耕耘器具(鋤)や耕耘機が走行するときに回転する車輪部分によって実施した(図-3)。耕耘の深さは、鋤の部分で10～15cmであり、車輪部分で30～40cmである。

実験は、耕耘領域と非耕耘領域(対照区)の2領域を設定して行った(図-2)。耕耘領域では耕耘後に底質から溶出する成分が水流で移動するのを極力防ぐためシルトフェンスを設置した。耕耘範囲はシルトフェンスを20m×40m角に展張し、その内部とした。また、耕耘方法は干潟走行機が干潟上を1回のみ走行して耕耘するものとした。

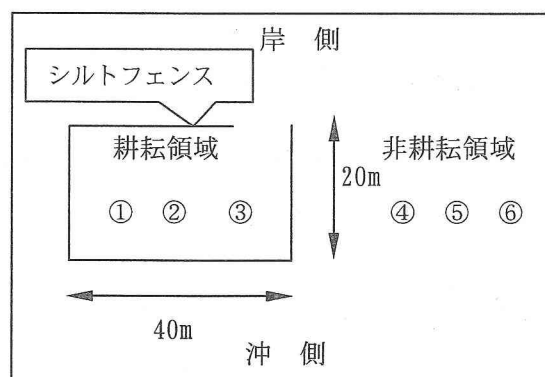


図-2 耕耘領域位置図

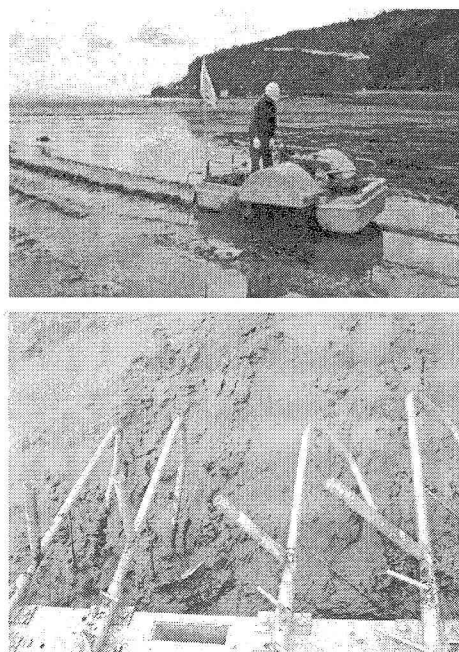


図-3 干潟耕耘機および耕耘器具(鋤)

b) 底質調査

耕耘による底質変化を把握するため、実験1日目、2日目、4日目の耕耘前後において、耕耘領域内での調査点①②③で図-4のように柱状採泥器(内径5cm、長さ1m、透明アクリルパイプ)によって表層泥(0～10cm)を採泥し、混合して1検体とした。

分析は底泥の間隙水を対象として行うものであり、アンモニア態窒素(以下、略号: $\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸・亜硝酸態窒素(以下、略号: $\text{NO}_x\text{-N}$)、リン酸態リン(以下、略号: $\text{PO}_4\text{-P}$)、全窒素(以下、略号: T-N)、全リン(以下、略号: T-P)から栄養塩類の現存量及び底質の性質を、酸揮発性硫化物(以下、略号: AVS)及び酸化還元電位(以下、略号: ORP)からは底質の酸化還元状態を、化学的酸素要求量(以下、略号: COD)から有機物量を、クロロフィルa(以下、略号: Chl-a)及びフェオフィチン(以下、略号: Pheo.)から底生性の珪藻量をそれぞれ把握した。

また、底質中の栄養塩類($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_x\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$)の鉛直分布(0～50cm)を把握するために非耕耘領域の3地点において柱状採泥を行った。分析は1層あたり10cmとし、5層について行った。

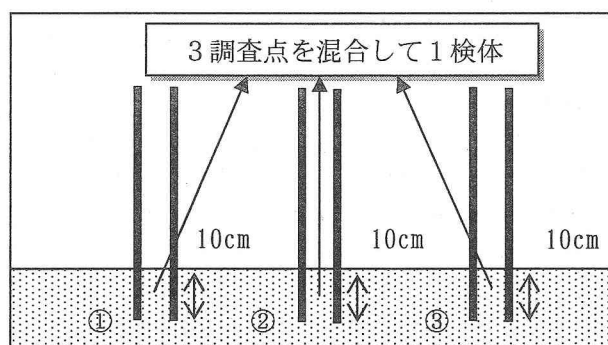


図-4 底質採泥方法

c) 水質調査

耕耘による水質変化を把握するため、窒素・リンの分析 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_x\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, T-N, T-P) や植物プランクトン量 (Chl-a 及び Pheo.) の測定を行った (図-5) . 採水は、調査点②と⑤において、上げ潮時の水位約 1 m の際の表層の水質の分析を行った.

d) 溶出量調査

耕耘による窒素・リンの溶出を把握するため、耕耘直後の耕耘した場所 (調査点①②③) と耕耘しない場所 (調査点④⑤⑥) にアクリルパイプ (内径 5 cm, 長さ 2 m, 透明) を調査点毎に 2 本設置し (図-5) , その中に現地の海水をアクリルパイプに注水し、耕耘 1 時間後、24 時間後に採水し (約 2 リットル) , $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_x\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ を分析した. 干潮時には、周辺一面に底面が出現するが、アクリルパイプ内では当初に満たした海水が滞水していることから、海域の潮位によらずに溶出量の測定を行うことができる.

また、耕耘頻度による溶出の差を確認するため、耕耘しない場所において採泥した試料を、室内で人為的に攪拌 (干潟走行機で何回も耕耘したことと同等とみなす) し、栄養塩類の溶出実験を実施し、現場での実験結果と溶出量を比較した.

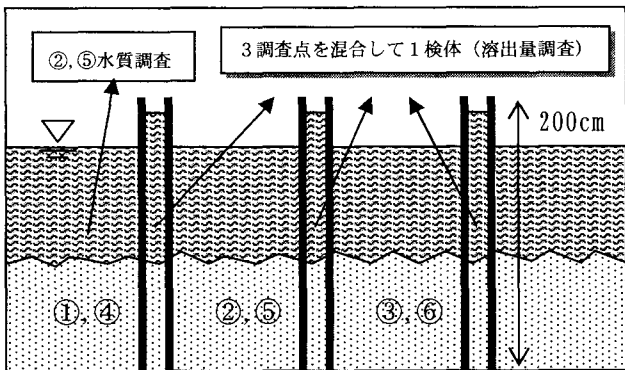


図-5 水質調査および溶出量調査の試料採取方法

3. 実験結果

(1) 干潟耕耘

干潟耕耘は図-2に示すシルトフェンス内 (耕耘領域: 20m×40m (0.08ha)) の範囲において実験期間中の日中の干潮時に 1 日 1 回の耕耘を実施した (表-2参照) .

なお、実験期間中の天候は、曇りまたは晴れであったが、3日目から4日目にかけて降雨になった.

表-2 実験期間中の干潟耕耘実績

日	日中の干潮時刻	耕耘時間
7月9日	10:42	11:00~11:30
10日	11:50	12:00~12:30
11日	12:53	13:00~13:30
12日	13:52	14:00~14:30

(2) 底質調査

底質調査では底泥の間隙水に対して分析を行ったが、その結果、耕耘領域では $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ が 1 日目から 4 日目まで変動を示す中で、耕耘前後で増加傾向が確認できたが、 $\text{NO}_x\text{-N}$ については 2 日目を除き耕耘前後で増加傾向を示した (図-6) .

また、調査位置で実施した柱状採泥結果より、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ は海底面下深度が深くなるにつれ濃度が高くなる傾向が得られたが、 $\text{NO}_x\text{-N}$ は海底面下深度が深くなるにつれ濃度が低くなる傾向が得られた (図-7) .

(3) 水質調査

水質調査の結果、各無機態の窒素・リン及び植物プランクトン (Chl-a+Pheo.) の値については 1 日目において「非耕耘領域」より「耕耘領域」の方が値が大きかった. 特に、 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, 植物プランクトン (Chl-a+Pheo.) の値が「非耕耘領域」より「耕耘領域」で大きかった.

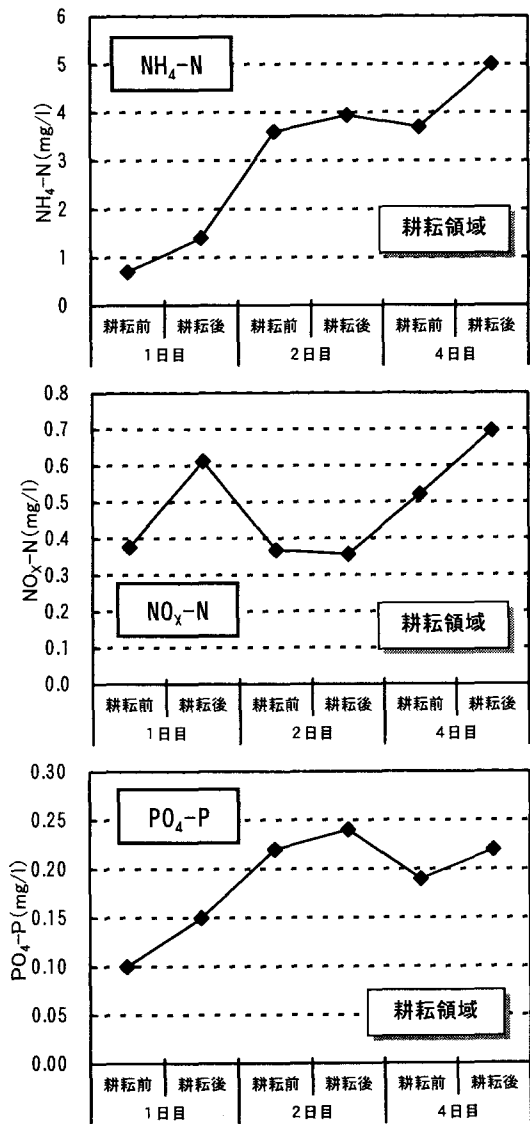


図-6 底質調査結果

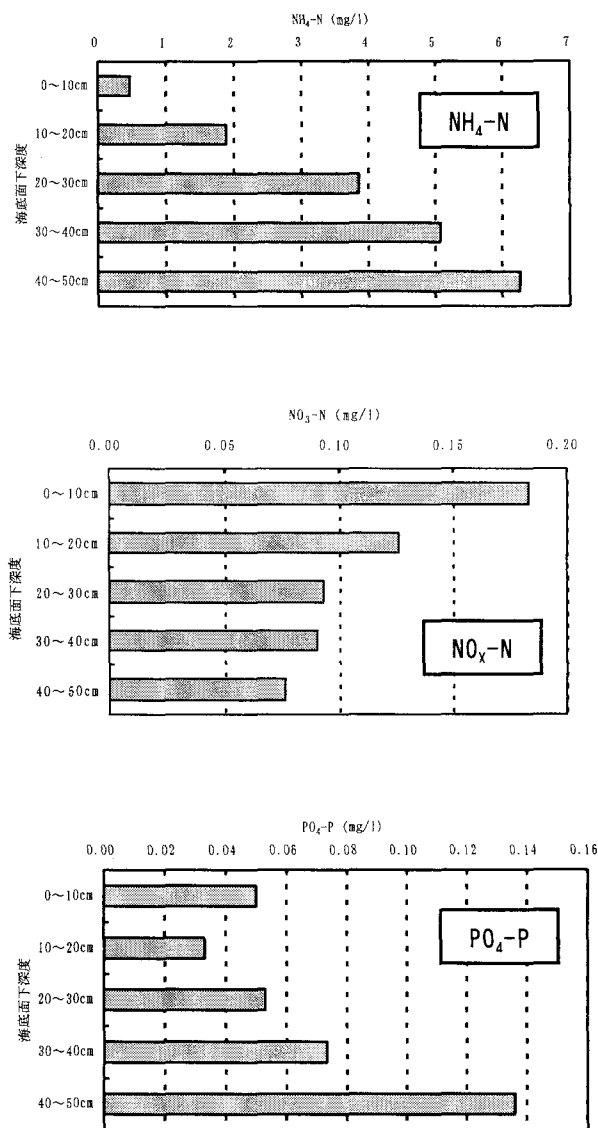


図-7 底質調査結果（柱状採取）

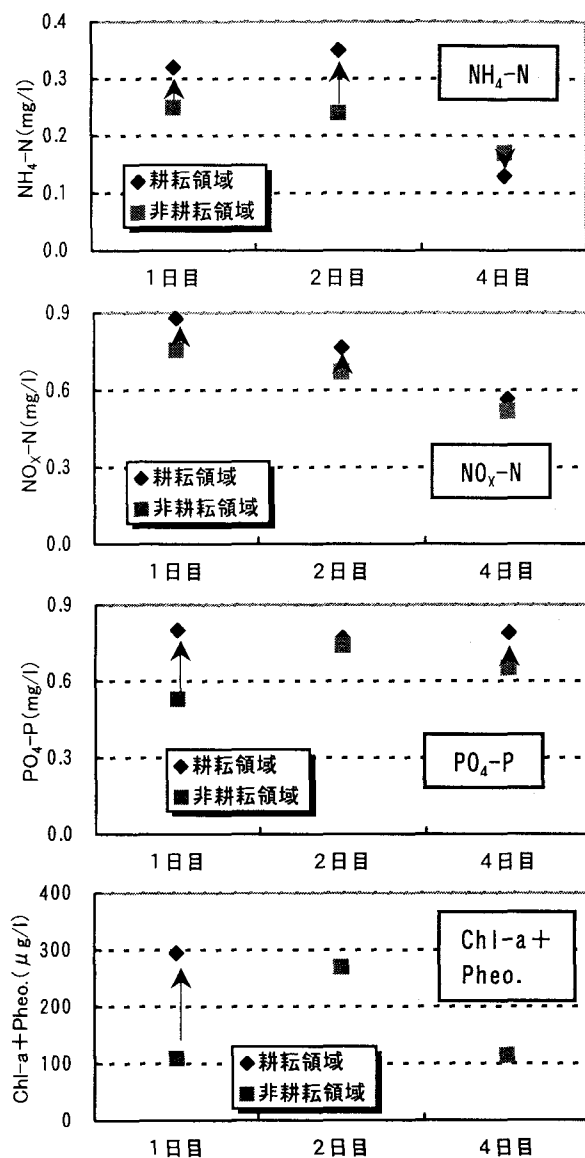


図-8 水質調査結果

(4) 溶出量調査

溶出量調査の結果、現場及び室内実験ともNH₄-Nが増加傾向を示したが、その他のNO_x-N、PO₄-Pについては溶出がみられなかった。また、「耕転領域」及び室内実験のNH₄-Nは、ほぼ同様の濃度で増加傾向を示していた（図-9）。

4. 考察

(1) 底泥からの溶出

調査結果において、NH₄-NとPO₄-Pについて、耕転前後の増加傾向が1日目から4日目までみられたのは（図-6参照）、耕転によって間隙水中のNH₄-NとPO₄-Pが海水中に溶出し、底質のNH₄-NとPO₄-Pの濃度がいったん低下するが、底質の粒子に吸着したNH₄-NとPO₄-Pが間隙水に溶出し、さらに、耕転層より深い非耕転層からNH₄-NとPO₄-Pが耕転層へ溶出し、結

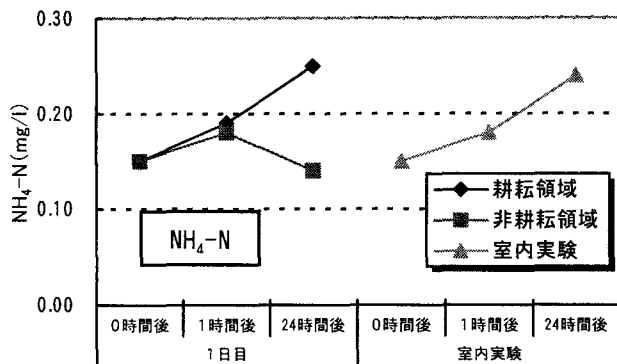


図-9 溶出調査結果

果としてNH₄-NとPO₄-Pが増加した可能性が考えられる。調査位置で実施した柱状採泥結果より（図-7参照）、NH₄-NとPO₄-Pは海底面下深度が深くなるにつれ濃度が高くなる傾向が得られており、耕転によって非耕転層から高濃度のNH₄-NとPO₄-Pが耕転層に溶

出すると思われる。しかし、底質の鉛直方向への濃度の変動は $\text{NH}_4\text{-N}$ と比較すると $\text{PO}_4\text{-P}$ は小さく、非耕耘層から耕耘層への $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出量は小さいと思われる。

底質の栄養塩類の結果より算出したDIN/DIP比（モル比）の変動を図-10に示す（ $\text{DIN} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{DIP} = \text{PO}_4\text{-P}$ ）。図ではDIN/DIP比が増加しており、図-6の結果を踏まえると底質の栄養塩類の増加の割合はDINがDIPより大きいことが明らかである。つまり、耕耘回数が増えるとDIPよりDINの方が非耕耘層から耕耘層へ溶出しやすくなると考えられる。ここで、佐賀県有明水産振興センターでは、底質を攪拌した状態では下層（10cm深）のDIN溶出は促進されるが、DIPの溶出は酸化状態におかれると底質に吸着するため溶出がほとんど期待できないと報告している¹⁾。また、DIPは還元的环境下では底質からの溶出が促進されると言われている²⁾。これらのことから耕耘によって酸素が供給されたため、DIPについては溶出が抑制された可能性がある。

底質の栄養塩類の挙動の概念図を図-11に示す。

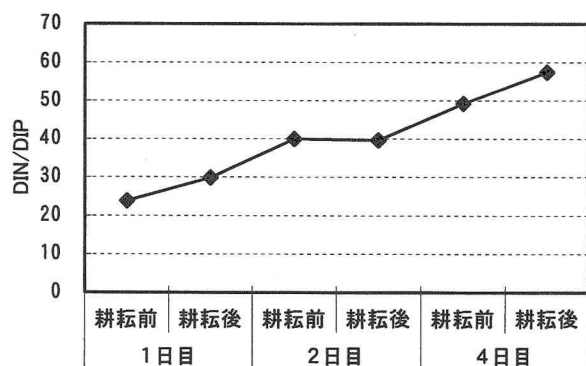


図-10 底質のDIN/DIP比の変動

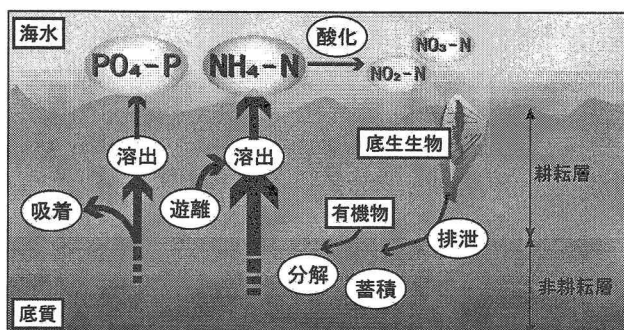


図-11 栄養塩類の挙動の概念図

(2) 植物プランクトンと溶出量の関係

耕耘により溶出した栄養塩類は植物プランクトンに速やかに消費されると思われるが、調査結果をみると（図-8参照）、植物プランクトンによる栄養塩類の消費にも関わらず、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ の増加がみられた。よって栄養塩類は、実際には植物プランクトンによる消費量分も溶出していたと考えられる。

(3) 攪拌（耕耘）の頻度と溶出量の関係

溶出量調査結果からも、耕耘を行うとノリの生長に必要な $\text{NH}_4\text{-N}$ が溶出することが明らかになった（図-9参照）。また、干潟走行機によって1回耕耘した場合と人為的に十分に攪拌した場合の溶出量に大きな差異はないと考えられることから、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を溶出させるには1回の耕耘で充分であると考えられる。

5. おわりに

現在までのところ、漁場の底質の改善については、覆砂や底質の攪拌が行われているものの、底質の攪拌については、その効果が定量的に評価されていなかった。本調査では、泥質干潟域での耕耘の効果を定量的に評価することができた。以下に本研究で得られた主要な結論を示す。

- ① 従来実施されていない泥質干潟において干潟走行機を用いて耕耘を行った。耕耘によって主に栄養塩である $\text{NH}_4\text{-N}$ が堆積物から水中へ溶出し、さらに堆積物の非耕耘層から耕耘層へも溶出していたことが推測された。
- ② 耕耘によって溶出した $\text{NH}_4\text{-N}$ は植物プランクトンに利用されるが、溶出した全量が植物プランクトンだけに消費されるとは考えにくく、ノリにも供給される可能性があると思われる。
- ③ 平成13年冬季のノリの色落ちが解消された原因は、干潟走行機を使用した堆積物の攪拌による栄養塩の溶出が寄与した可能性が考えられる。
- ④ 耕耘の頻度による栄養塩の溶出の差は小さいと考えられる。よって繰り返し耕耘することなく、一度の耕耘で栄養塩溶出の効果を期待することができ、本工法によって広域に亘る施工をすることができると考えられる。

以上の結論を基に、干潟耕耘による効果の概念を図-12に示す。

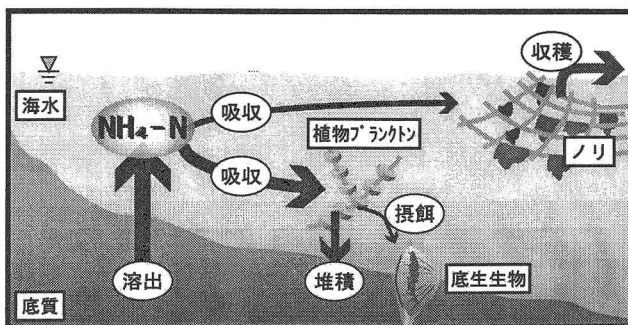


図-12 干潟耕耘による効果

6. 今後の課題

今後の課題としては、以下のことについて検討することが考えられる。

(1) 実施時期

ノリ養殖が行われる冬季（特に12月以降）には、有明海湾奥部では植物プランクトンが多く発生し、赤潮になることもあり、ノリとの競合による影響が懸念される。そのため、本工法の実施時期としては、海域に栄養塩類が不足しているというだけでなく、植物プランクトンが少ない時期であることをモニタリングして確認しながら決定する必要がある。

(2) 底生生物への影響

ノリの生長には、栄養塩類吸収で競合する植物プランクトンを摂餌して除去する底生生物の生息が重要である。底生生物への耕耘効果については、①植物プランクトンや干潟上の珪藻が増加したり、底質中の有機物が溶出懸濁して餌量が増加する影響、②

底質の攪拌による酸素供給によって生物生息環境が向上する影響の2点が考えられる。

しかし、当実験では②の効果については、AVS及びORPの結果が耕耘後わずかながら改善したものの明確ではないことから、今後、干潟走行機に干潟に酸素供給できるような耕耘方法を検討することが必要であると考えられる。

謝辞：本調査を遂行するにあたっては総合科学(株)、(株)キューヤマの御協力を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 佐賀県有明水産振興センター：ノリ養殖における生産阻害因子の発生動態とその制御技術の開発，平成9年度地域重要新技術開発促進事業報告書，1998.
- 2) 鈴木昌弘，國分治代，伊藤学：東京湾における堆積物－海水間のリンの挙動，海の研究12（5），p 201-516，2003.