

海生研リーフレットNo.6

# 養殖ノリの水温と水流に対する 生育反応について



平成4年3月

財團法人 海洋生物環境研究所

本報告書は、通商産業省資源エネルギー庁の委託により  
昭和60年度から平成元年度までに実施した研究成果の一部  
を取りまとめたものである。

# 養殖ノリの水温と水流に対する生育反応について

## 目 次

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| はじめに.....                       | 2  |
| アマノリ属植物の生活史と養殖の概要.....          | 3  |
| 試験装置の構造と機能.....                 | 6  |
| 試験方法.....                       | 13 |
| 水温に対する養殖ノリの生育反応.....            | 18 |
| 水流に対する養殖ノリの生育反応.....            | 21 |
| 水流条件が異なる場合の水温に対する養殖ノリの生育反応..... | 25 |
| 関連文献.....                       | 28 |
| むすび.....                        | 29 |

## は じ め に

わが国における海面養殖業は、主として内湾を中心とした沿岸域において営まれている。したがって、内湾域およびその近傍に立地する臨海発電所の前面海域では、放出される温排水の拡散域がこれらの漁場に及ぶ場合もあり、一部地域によってはその影響が懸念されている。そして、産業上重要な位置を占めるノリ（海苔）養殖に対する温排水影響も当初からこうした懸念事項の一つに挙げられていた。

従来から、ノリ養殖対象種の生理・生態については良く調べられており、重要な基礎的知見も数多く収集されている。しかし、そういった研究の多くは、ケース・スタディとしての現地調査と室内の限定された条件下で行われた基礎実験であったため、汎用な温排水の影響予測評価に直接利用できるものは少なかった。

通商産業省資源エネルギー庁では、「大規模発電所取放水影響調査」の一環として、「温排水生物影響調査」の実施を昭和55年度から財団法人海洋生物環境研究所に委託している。この委託調査は、水温および水流の変化に対する沿岸域の魚貝藻類の生理・生態的な反応を、種々の試験装置を用いて調査し、温排水による水温上昇、および取放水による流れの変化の影響の程度を、実証的に明らかにしていくことを内容とするものであった。

この委託調査のうち、「水流温度反応実証調査」においては昭和59年度から海水加温装置、流水式回流水槽、水流発生装置等を当研究所の実証試験場（新潟県柏崎市）に順次整備した。これらの装置は、実証試験場に隣接する東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所の温排水とその専用港湾内からポンプ・アップ

した自然海水を用い、屋外において海藻類等の生育試験を行うためのものであり、本格的な生育試験を昭和60年度から開始した。これまでに、養殖ノリを対象として、水温及び水流に対する生育反応を明らかにする試験を実施した。水流温度反応実証調査は現在も継続中であり、今後はノリ以外の養殖対象藻類や主要な藻場構成藻類を対象として実施して行く予定である。

この小冊子では、5カ年にわたって実施してきた養殖ノリの生育に及ぼす水温と水流の影響に関する実証試験の結果の概要を紹介する。

### アマノリ属植物の生活史と養殖の概要

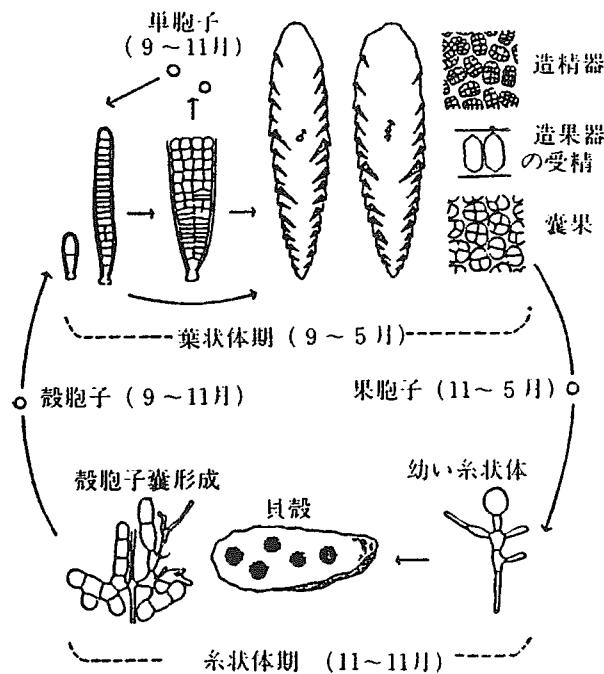
紅藻類ウシケノリ科のアマノリ属植物を総称して、一般にノリ（海苔）と呼んでおり、本邦産は約30種とされている。このうち、通常の養殖対象はスサビノリとアサクサノリであるが、現在ではスサビノリの栽培品種であるナラワスサビノリが大半を占めている。

アマノリは紫菜と呼ばれ古代より食用とされており、その様子が「古事記」、「風土記」あるいは「養老律令」の賦役令などからもうかがえる。また、養殖の歴史だけをとっても江戸期にまでさかのぼる。近年では、全国で200,000トン（湿重量）以上の生産をあげるにいたっており、国内における主要な漁場は、北から松島湾、東京湾、三河湾、伊勢湾、瀬戸内海、及び有明海となっている。

### 生活史

第1図に、アマノリ属植物の生活史を模式的に示した。

海苔として食用に供されるものは葉状体と呼ばれる有性世代の配偶体で、天然では晚秋から翌年の春にかけて潮間帯に生育する。これが冬から春にかけて



第1図 アマノリ属植物の生活史  
(殖田ら, 1978, 「水産植物学」より)

成熟し、造精器と造果器が形成される。そして、造精器から放出された精子によって、造果器の中の雌性細胞が受精し、ここに果胞子が形成される。

放出された果胞子は発芽、成長して、糸状体と呼ばれる無性世代の胞子体となる。糸状体は多年生で、貝殻等の石灰質に穿孔して菌糸状に成長する。これが秋に成熟すると胞子嚢ができ、ここに殼胞子が形成される。

放出された殼胞子は基物に付着し、発芽して葉状体となる。幼い葉状体の先端部の栄養細胞は、無性的な単胞子として放出される。この単胞子もまた基物に付着して発芽し、葉状体となる。これを繰り返して個体数を増していくが、後に水温が低下すると単胞子の放出は見られなくなり、成長して有性生殖による果胞子を形成する。このように、1年を単位として生活史は一巡する。

## 養殖

ノリ養殖は、漁場の水温が20～23°C程度に低下した秋口に、採苗を行うことから始まる。採苗は、それまで屋内の水槽で管理していた糸状体から殻胞子を放出させて、これを合成纖維製などのノリ網に着生させることで、陸上の水槽内で行うタンク採苗と実際の漁場で行う野外採苗とがある。

採苗を終えたノリ網は、漁場に展開される。この展開方法には、浅瀬に立て込んだ支柱につなぎ止める支柱柵方式と、浮きを付けて沖合に浮かせて置く浮き流し方式とがある。前者では、潮の干満に応じて毎日一定時間ずつノリ網が空中に露出するが、後者では、ノリ網は常に水中に浸っていることになる。

ただし、採苗から葉状体が2～3cm程度に成長するまでの20～40日間は育苗期と呼ばれ、干出を与えることが特に重要なことから、浮き流し方式であっても、特殊な資材を用いて人為的に干出を与える。また、この育苗期には、幼い葉状体から盛んに単胞子が放出され、ノリ網に着生する。単胞子に由来する葉状体は成長が遅れており、次に伸長してくるという意味で2次芽、3次芽と呼ばれている。

育苗期を経た後、一部のノリ網はそのまま養殖が続けられるが、残りは一定の乾燥の後に-20°Cで凍結保存される。この凍結保存されたものは冷凍網と呼ばれ、養殖用の種苗として扱われる。漁期を通じて、1枚のノリ網から通常4～5回の摘採が行われるが、病害等で状態の悪くなったものは順次冷凍網に取り替えられる。

また、収穫されたノリは、洗浄の後に細断される。これを、和紙作りを真似て考案された要領で抄き上げ、脱水して乾燥する。乾燥したものは簀から剥ぎ取り、結束して製品とする。以上がノリ養殖の作業の概要であるが、近年では収穫、加工工程のほとんどが機械化されている。

## 試験装置の構造と機能

第2図に、試験装置の全景を示した。この装置は、屋外に設置した6基の流水式回流水槽内に、様々な水温及び水流条件を設定して、主として浮き流し方式のノリ養殖を再現するものである。

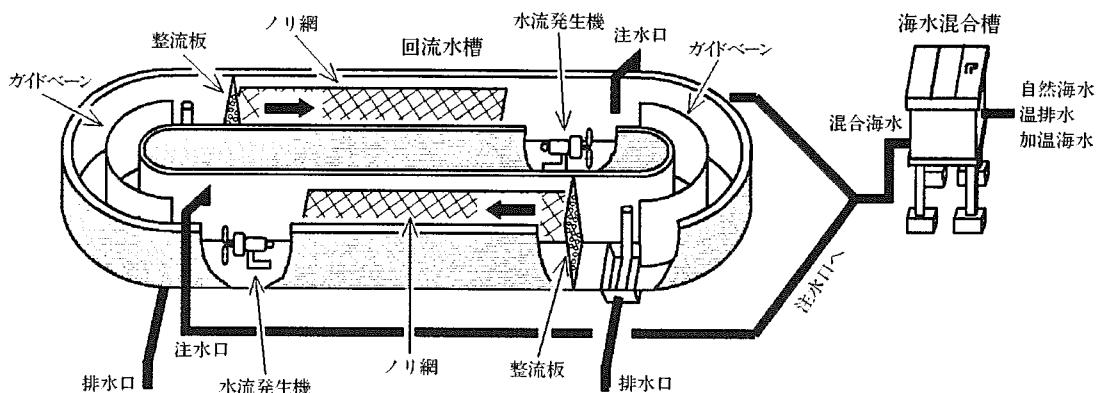


第2図 水流温度反応実証調査に用いた試験装置の全景

## 流水式回流水槽の構造

第3図に、流水式回流水槽の模式図を示した。回流水槽本体は、幅1m深さ75cmの水路が、陸上競技のトラックのように楕円状に回流するもので、全長約10×幅約3×高さ約0.9mである。ここに、水位を65cmに設定すると、容量は約15m<sup>3</sup>となる。2本ある水路の直線部分は長さ約7mで、この直線部分の水面下5cmの位置に供試材料としてノリ網を張り込んだ。各直線部分の一端の底層から注水を行い、他端に立ち上がり管を取り付けて表層から排水した。注水量は、最大で30m<sup>3</sup>/時である。

また、この回流水槽には、それぞれ水温設定を行う1基の海水混合槽と、2機の水流発生機が付属している。



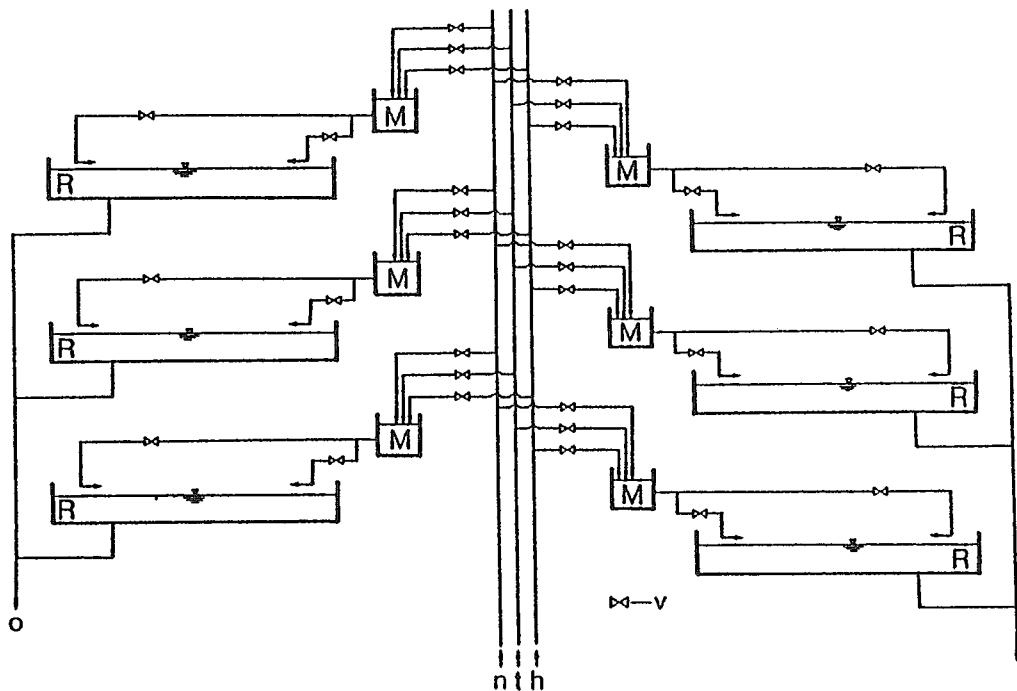
第3図 流水式回流水槽の模式図

## 水温設定機能

試験装置が設置されている実証試験場には、原子力発電所の温排水と、発電所の専用港湾からポンプ・アップした自然海水が供給されている。温排水は、発電所の復水器を通過することによって、専用港湾の自然海水より最大で6～7°C程度昇温している。また、実証試験場構内に送られてきた温排水の一部は、海水加温装置を経由して、さらに10°C加温される。したがって、ここでは、自然海水( $\Delta T 0^{\circ}\text{C}$ )、温排水( $\Delta T 6^{\circ}\text{C}$ )、加温海水( $\Delta T 16^{\circ}\text{C}$ )の、温度が異

なる3系統の海水を用いることができる。

第4図に、試験装置の送水系統を示した。6基の回流水槽には、それぞれにヘッド・タンクを兼ねた海水混合槽が付属しており、ここに温度が異なる3系統の海水が導入される。ここで所定の比率で混合することにより、それぞれ任意の昇温幅 ( $\Delta T$ ; °C) に設定して、回流水槽に注水する。

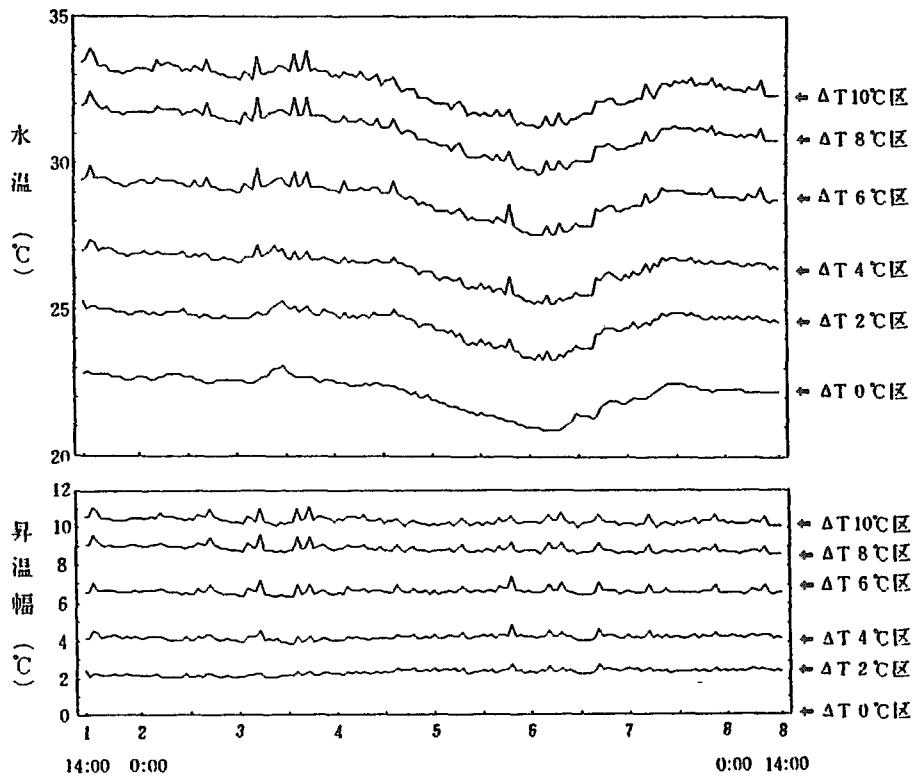


第4図 試験装置の送水系統

M : 海水混合槽, R : 流水式回流水槽

n : 自然海水, t : 温排水, h : 加温海水, o : 排水, v : バルブ

水温設定の一例を、第5図に示した。設定区は、自然海水のみを注水する $\Delta T$  0°C 区、自然海水と温排水を混合する $\Delta T$  2, 4°C 区、温排水のみの $\Delta T$  6°C 区、及び温排水と加温海水を混合する $\Delta T$  8, 10°C 区とした。期間中の自然海水温度は21~23°C の範囲にあり、温排水の平均昇温幅は 6.7°C、加温海水の平均昇温幅は16.6°C であった。各回流水槽内の水温は、いずれも自然海水温度に伴って変化し、それぞれの昇温幅は設定値近傍で安定していた。



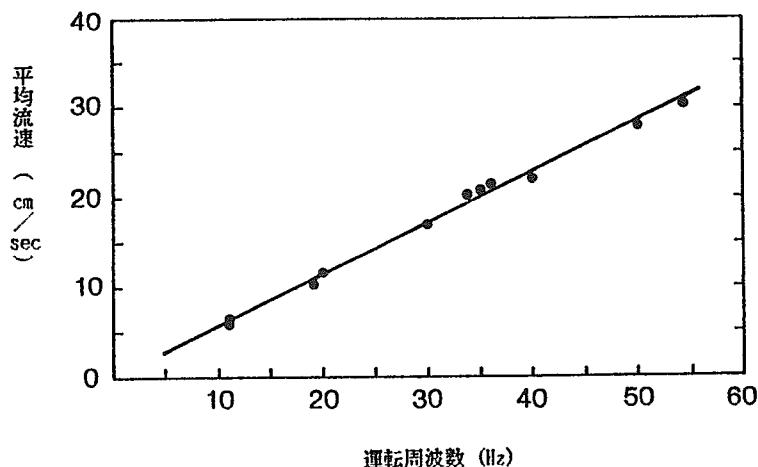
第5図 流水式回流水槽の水温設定の例

### 水流設定機能

各回流水槽には、それぞれ2機のプロペラ式の水流発生機があり、これで時計回りの水流を起こすことができる。水流発生機を使う場合は、水路内の流れを層流に近づけるため、直線部分の上流側に整流板を取り付けた。また、一部の試験では水流発生機を用いなかったが、この場合は注水口に水平な方向性を持たせて、吐出圧で反時計回りの水流を発生させた。この時、流速は一定しなかったが、おおむね3～6cm／秒であった。

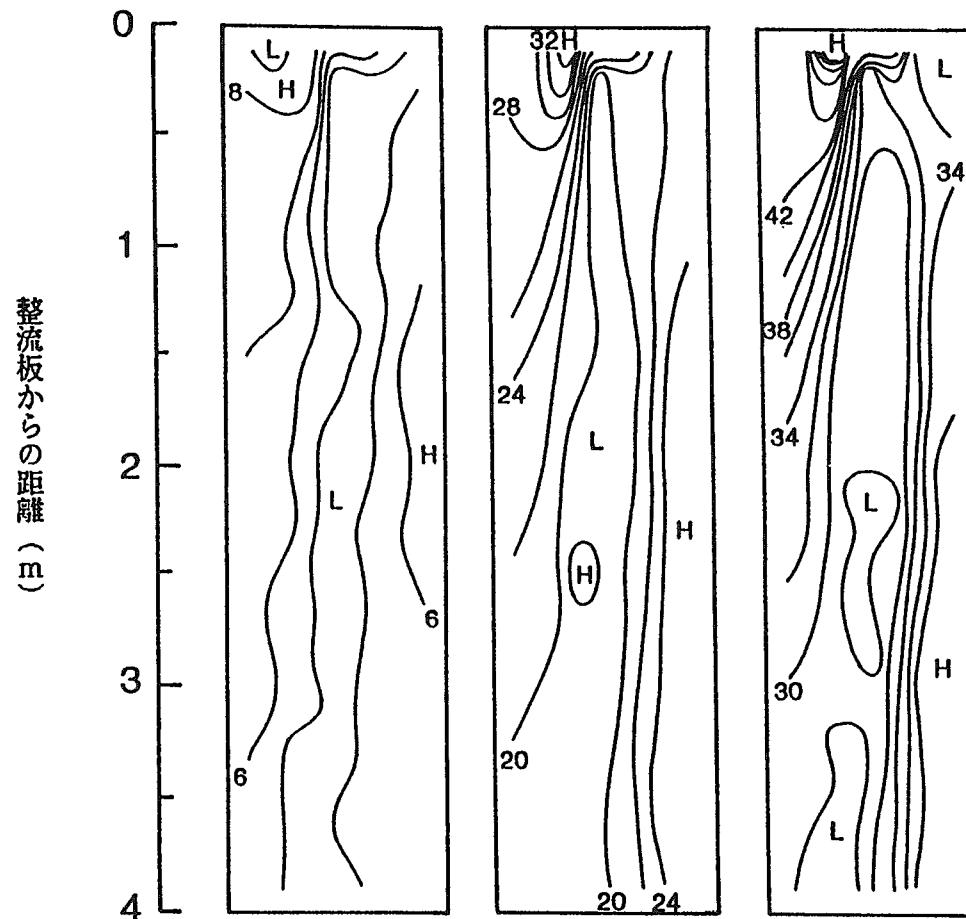
回流水槽内に流速段階を設定する場合は、運転周波数によって水流発生機のプロペラの回転数を制御して行った。そして、第6図に示したように、運転周波数と水路中央の流速との間には直線関係が認められた。流速を5, 20, 30cm／秒に設定した場合の、流速分布の一例を第7図と第8図に示した。整流板直後

と水槽壁沿い、および下層付近で、設定値より高い流速が認められたが、供試材料を収容する整流板から 1 mほど下流の表層、中央付近では設定値近傍で安定していた。



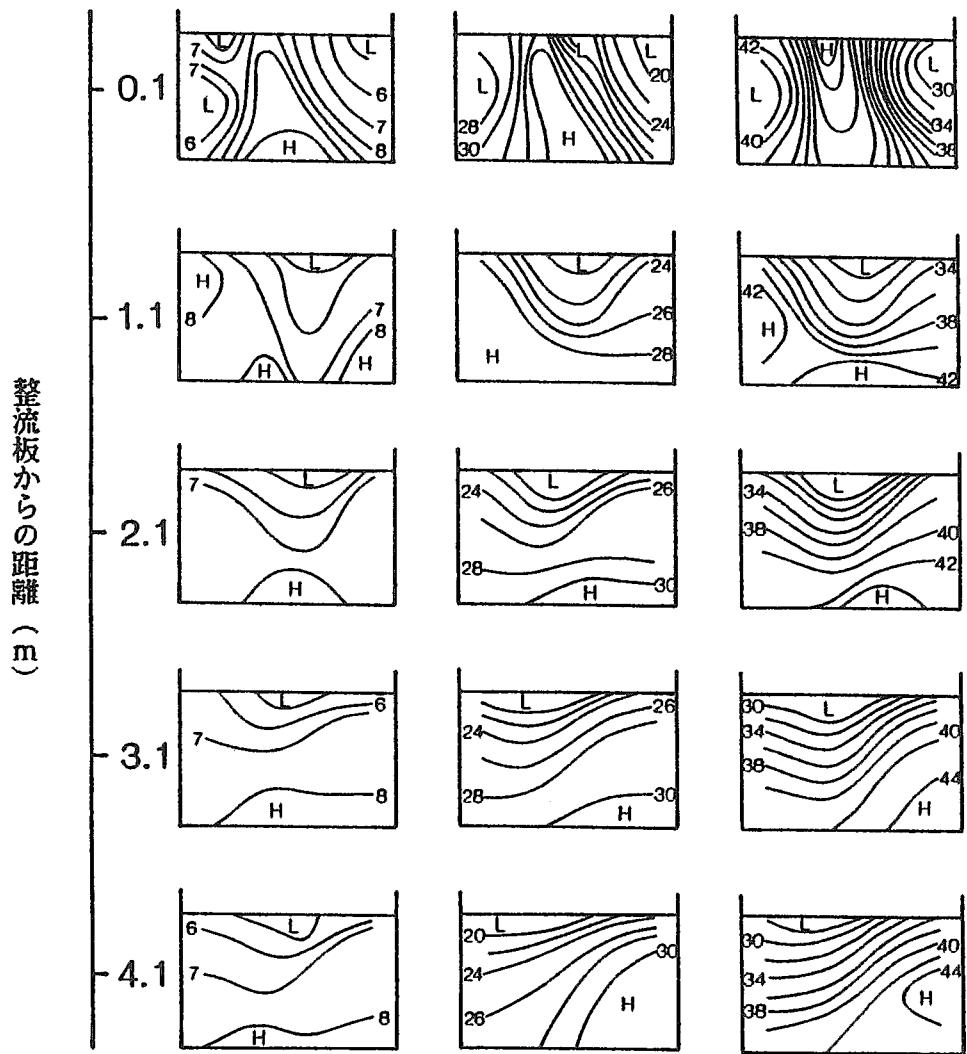
第 6 図　　流水式回流水槽内の平均流速と水流発生機の運転周波数

以上のように、各回流水槽にはそれぞれ独立に水温（昇温）条件と水流（流速）条件を設定することができ、1回流水槽が1試験区となる。したがって、1回の試験は最高6試験区で行われる。



|       |   |    |    |        |
|-------|---|----|----|--------|
| 運転周波数 | 8 | 35 | 53 | (Hz)   |
| 設定流速  | 5 | 20 | 30 | (cm/秒) |

第7図 流水式回流水槽内における流速の水平分布の例 (水深5cm)  
(図中の数字は流速cm/秒)



運転周波数

8

35

53 (Hz)

設定流速

5

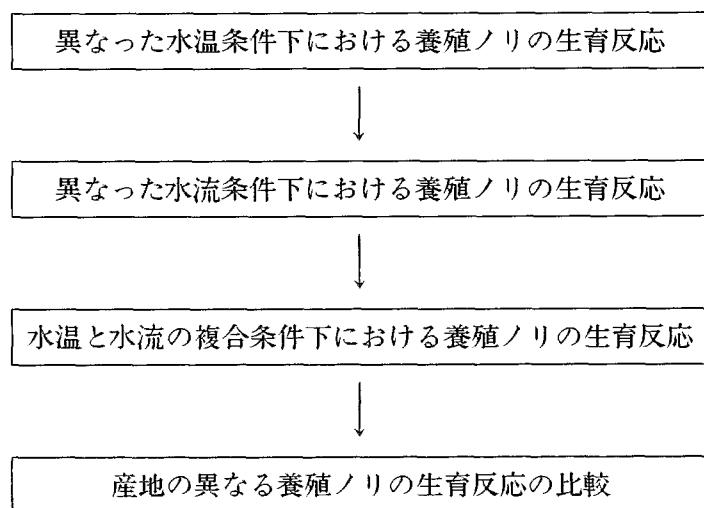
20

30 (cm/秒)

第8図 流水式回流水槽内の断面における流速分布の例  
(図中の数字は流速cm/秒)

## 試験方法

本調査では、第9図に示した4項目の課題を設定して、順に実証試験を通して検討した。なお、生育反応の産地間の差異は特に認められなかつたので、この小冊子では水温と水流の複合条件下における生育反応についてまでを紹介する。

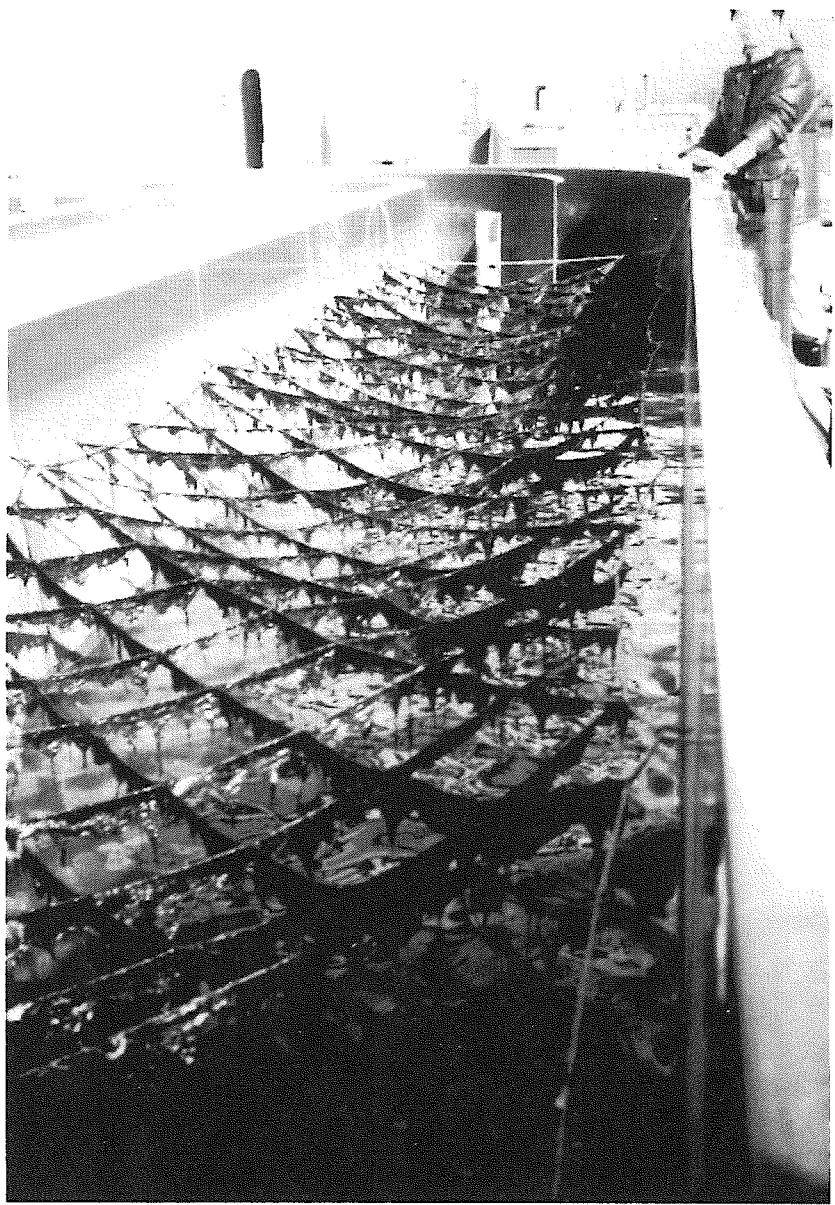


第9図 養殖ノリの水温と水流に対する生育反応についての検討課題

### 供試材料

ここでは、全国の主要漁場の中から、宮城県の松島湾漁場、東京湾に面する千葉県下の漁場、瀬戸内海に面する兵庫県下の漁場、及び有明海に面する佐賀県下の漁場を選定し、実際の養殖用として採苗、育苗された後に、凍結保存された冷凍網入手した。

-20°Cで凍結されている冷凍網を、試験開始の4~5日前に、実施時期の自



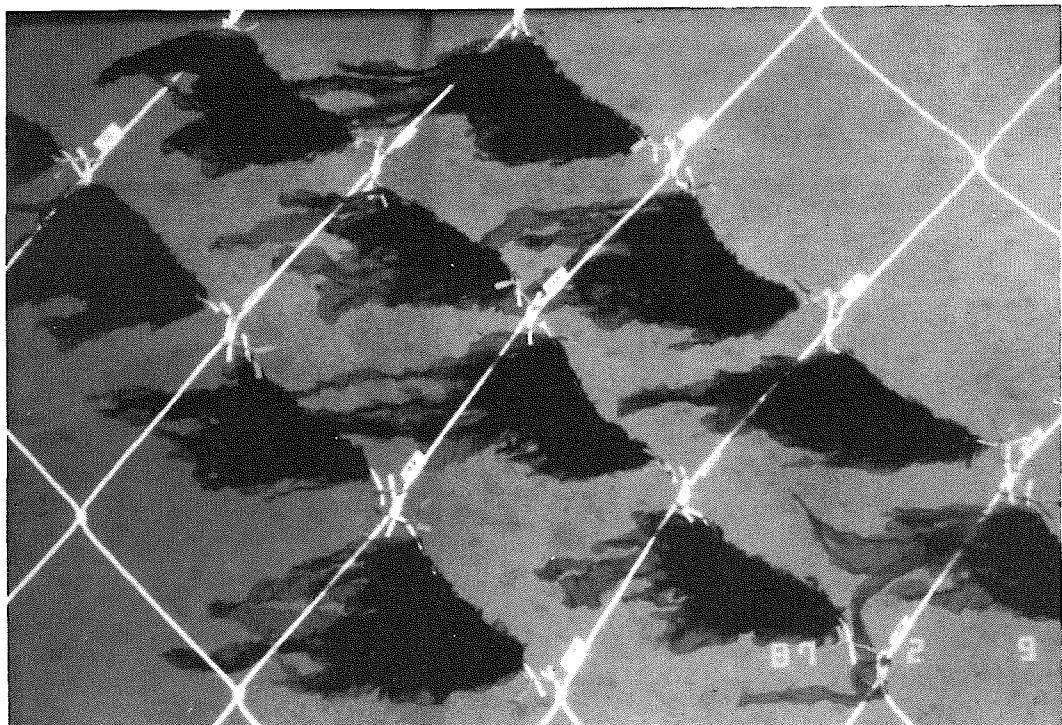
第10図　　流水式回流水槽内のノリ網ーⅠ

水路に合わせて裁断して展開してある

然温度の流海水中で充分に解凍した後、自然海水温度で予備培養を行った。このようにして、状態を安定させると伴に、供試材料の選別を行った。

一部の試験では、第10図に示したように、予備培養を終了したノリ網を水路の直線部分にあわせて、 $0.9 \times 5\text{ m}$ あるいは $0.9 \times 2\text{ m}$ に裁断して、水槽内の

水深5cmの位置に展開した。他の試験では、第11図に示したように、予備培養に入る前に約15cmの網糸（網目の一辺）に切り分けて置いて、水槽内に張り込んで置いた空の網地に取り付けた。



第11図　　流水式回流水槽内のノリ網－2  
網目の一辺に切り分けて展開してある

#### 測定項目

9～21日間の生育試験期間中は、環境要因として、水温、塩分、流速、栄養塩類(無機3態窒素、kg磷酸態磷)，溶存酸素量、pH、化学的酸素要求量、懸濁物総量、および大気と水中の光合成有効日射量などを測定した。また、ノリ藻体の生育状況としては、藻体量、個体数密度、葉長・葉面積組成などの測定、

および細胞の形態などの顕微鏡観察を実施すると共に、光合成色素、水分、炭素、窒素、燐などの含量を測定した。

この小冊子では、藻体量の変化と光合成色素含量を用いて、結果の概要を紹介する。

## 成長の測定

ノリ藻体の生残、成長の指標として、適宜藻体量（湿重量g／網糸cm）を測定した。

ノリ藻体には組織の分化がほとんどなく、体細胞のすべてが同じ確率で分裂することによって成長する。したがって、条件さえ許せば絶えず指数関数的成长を示すと考えられる。このことから、養殖ノリの成長解析では「植物成長の複利法則」を適用し、以下の式によって日成長率を求めて検討している。

$$W = W_0 (1 + R / 100)^T$$

ここで、 $W_0$  は開始時の藻体量、 $W$  は終了時の藻体量、 $T$  は経過日数(日)であり、 $R$  が日成長率(%)である。

しかし、ここで行った生育試験ではノリ藻体が枯死あるいは傷害等によって脱落することがあり、藻体量の変化が指数関数的成长を直接反映しているという確信が、必ずしも得られなかった。そこで、全ての細胞は均一な確率で脱落すると仮定し、脱落も指数関数的に起こるとみなして、 $R$  は成長率( $R_G$ )から脱落率( $R_L$ )を差し引いた日增加率であると考えた。従って、

$$R = R_G - R_L$$

となり、これから「植物成長の複利法則」を準用して、指數関数的な成長と指數関数的な脱落を前提とした以下の式が得られた。

$$W = W_0 (1 + R_G / 100 - R_L / 100)^T$$

以上のようにして求めた日増加率  $R$  (%) (=  $R_G - R_L$ ) により、藻体量の変化を比較して検討した。

### 生理状態および品質の測定

ノリ藻体は、クロロフィル、フィコエリスリン、フィコシアニン、カロチノイド等の光合成色素を含有している。これらの色素の含有量は環境条件によって変化し、生理状態の指標になると考えられる。また、ノリの独特な漆黒色は、これらの色素によって可視光線が吸収されるために生じる。そして、この色彩が乾ノリとした際の品質と良く相関し、価格を左右する。したがって、各色素の含有量は、生理状態及び品質の指標となると考えられる。

これらの光合成色素が特定の波長帯の光に吸収極大を有することから、ノリ藻体の吸収スペクトルから特定の値を読み取ることによって、それぞれの含量を推定することができる。

実際には、ノリ藻体の中央付近で穴あき等の損傷のない箇所を切り取り、濾過海水で洗浄した後、2枚の透明なスライドグラスの間に海水で封入したものを試料とした。こうして、濾過海水のみを封入したスライドグラスを対照とし、自記分光光度計を用いて藻体吸光度を測定した。これから、クロロフィル含量に対応する 680 nm の吸光度を読みとり、藻体自体の濁りの影響を除くために、750 nm の吸光度を差し引いた値

$$E_{680} = 680\text{nmの吸光度} - 750\text{nmの吸光度}$$

を用いて、生理状態および品質の変化を検討した。

### 水温に対する養殖ノリの生育反応

#### ノリ養殖と水温

ノリ養殖は、秋期に水温が低下して22~23°C程度になる頃に採苗するところから始まり、その後漁場の水温の低下に伴って最盛期を迎える。この間、漁場の水温は、気象、海況等に影響されて変化する。さらに、支柱柵漁場においては、干潮時に空中に露出して氷点下の气温に曝されることもあるが、光合成などの生理代謝は4°C以下で停止するとされている。したがって、ノリ藻体の通常の生育温度は、4~22°Cと考えることができる。

#### 試験条件

水温の影響を検討した試験例1と2について、その試験条件を第1表に示した。いずれの試験も、自然海水温度を基準にして、2°C間隔で10°Cまで昇温し、6試験区とした。

試験例1では、自然海水温度のΔT 0°C区が平均で12.9°C、最高水温のΔT 10°C区が23.4°Cであった。試験例2では、ΔT 0°C区が平均で8.0°C、ΔT 10°C区が18.4°Cであった。また、ここでは水流発生機を使わなかった。方向性を持たせた注水口からの吐出圧に伴って生じる流速は一定しなかったが、おおむね3~6cm/秒の範囲であった。

また、無機3態窒素は、一般のノリ漁場において必要と考えられている濃度(7~14μg-at/l)に比べて、かなり低い値であった。光合成有効日射量につ

第1表 水温の影響について検討した例の試験条件

| 試験例 | 実施期間          | 試験区 | 水温 (°C)    |        | 栄養塩類 ( $\mu\text{g-at}/\ell$ ) |         | 日射量<br>(E/m <sup>2</sup> /日) |
|-----|---------------|-----|------------|--------|--------------------------------|---------|------------------------------|
|     |               |     | $\Delta T$ | (平均)   | 流速 (cm/秒)                      | 無機3態窒素  |                              |
| 1   | 1985.12.03~24 | 1   | 0          | (12.9) | 3 ~ 6 <sup>x</sup>             | 2.0~3.5 | 0.3~3.1                      |
|     |               | 2   | 2          | (15.0) |                                |         |                              |
|     |               | 3   | 4          | (17.3) |                                |         |                              |
|     |               | 4   | 6          | (19.5) |                                |         |                              |
|     |               | 5   | 8          | (21.6) |                                |         |                              |
|     |               | 6   | 10         | (23.4) |                                |         |                              |
| 2   | 1986.02.04~25 | 1   | 0          | (8.0)  | 3 ~ 6 <sup>x</sup>             | 3.4~5.6 | 0.3~0.5                      |
|     |               | 2   | 2          | (10.4) |                                |         |                              |
|     |               | 3   | 4          | (12.6) |                                |         |                              |
|     |               | 4   | 6          | (14.7) |                                |         |                              |
|     |               | 5   | 8          | (16.6) |                                |         |                              |
|     |               | 6   | 10         | (18.4) |                                |         |                              |

<sup>x</sup> : 注水口の吐出圧に伴う水流, <sup>xx</sup> : 欠測

いては、連続測定を実施しなかったが、おおむね 2 ~ 21 E / m<sup>2</sup> / 日の範囲であった。

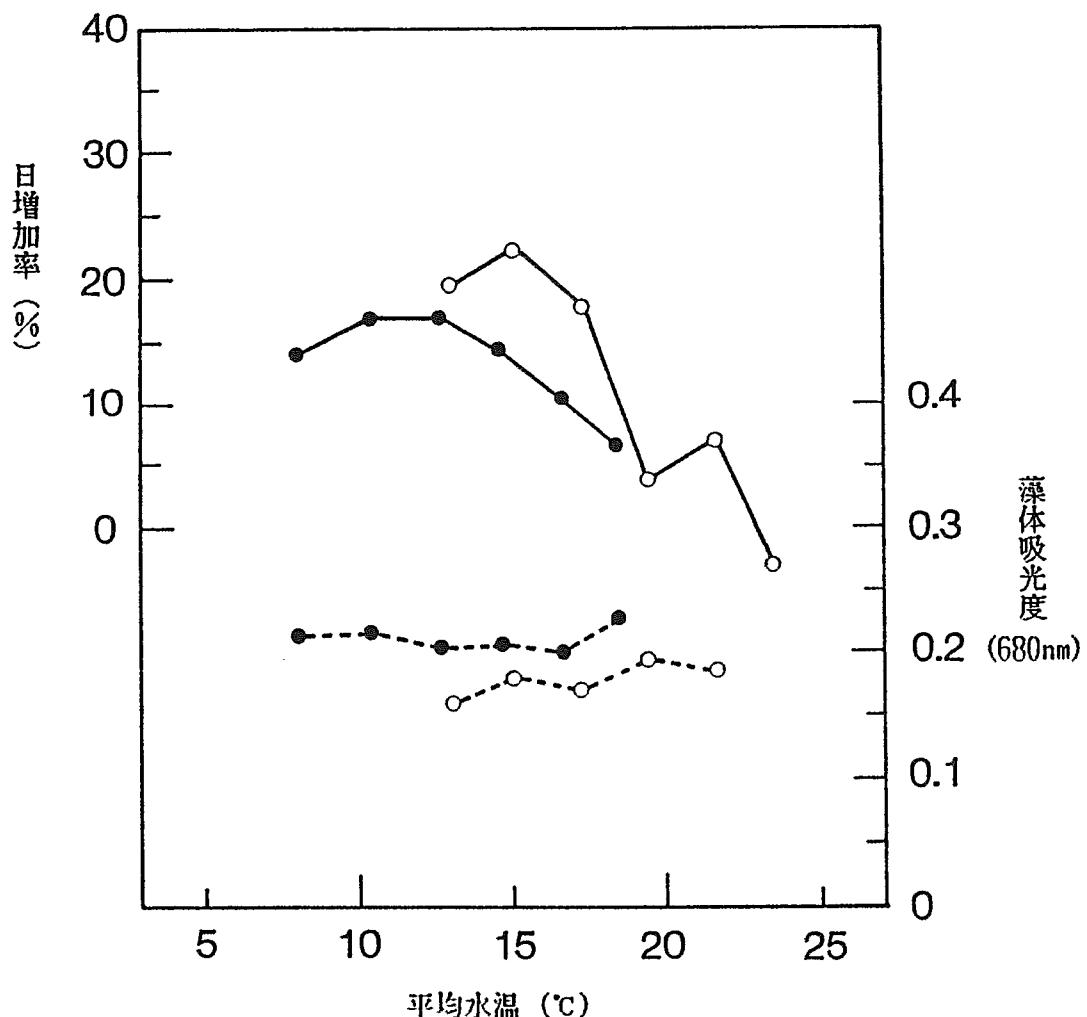
## 結果

試験例 1 と 2 の結果をあわせて、養殖ノリの生育と水温との関係を第12図に示した。ここでは、横軸を各試験区の平均水温とした。実線で示したものが藻体量の日増加率で、破線で示したものがクロロフィル量に相当する 680 nm の藻体吸光度である。いずれも試験開始から10日目のデータで、白丸が試験例 1、黒丸が試験例 2 の結果を示している。なお、藻体の脱落が著しく、充分な試料が得られなかった試験例 1、 $\Delta T 10^{\circ}\text{C}$  区の藻体吸光度の値は除いた。

藻体量の日増加率は、一定の温度範囲で一つのピークを示し、この範囲より高温側では温度の上昇に伴って、低温側では温度の低下に伴って、日増加率が

低下する傾向が認められた。このことから、藻体量の増加には、最適温度範囲が存在すると考えられた。なお、20°Cを越える高温側では、脱落する藻体が多量に見られ、藻体量の日増加率も極めて低い値を示した。

一方、藻体吸光度では、8～20°Cの範囲において水温に伴う傾向的な差は認められなかった。



第12図 養殖ノリの水温に対する生育反応

実線：藻体量の日増加率、破線：藻体吸光度（クロロフィル含量）

○：'85.12.3～24, 流速3～6 cm/秒, 無機3態窒素 2.0～3.5 μg-at/l

●：'86.2.4～25, 流速3～6 cm/秒, 無機3態窒素 3.4～5.6 μg-at/l

## まとめ

以上のことから、水温は主としてノリ藻体の代謝速度に関わり、成長速度、枯死、脱落の速度を左右して、藻体量の日増加率を指標として最適域が示されると考えられた。また、ノリ藻体が生育できる温度範囲では、光合成色素含量に対する水温の影響は、ほとんどないものと考えられた。

## 水流に対する養殖ノリの生育反応

### ノリ養殖と水流

ノリ漁場における海水の動きは、潮汐を初めとして、これに波浪、風浪などが加わり、極めて複雑である。このような海水流動の強度に関しては、これまでにも、様々な方法で検討した例があるが、一般に定量化することは困難である。そこで、多くは水流に置き換えられ、その強度は流速で表されて検討されている。

ノリ藻体に対する水流の機能は、これまで藻体と海水との相対運動、藻体が接触している海水の入れ代わり、あるいは藻体周辺に形成される境界層の除去と説明されている。そして、その効果は、栄養塩類などの供給と細胞外に代謝された老廃物の除去の促進と考えられる。

日本一の潮汐をほこる有明海の漁場では、1 m／秒以上の流速が観測される。しかし、ノリ網自体が流動を阻害して、ノリ網内の流速はノリ網外の流速に比較して著しく減衰しており、外洋漁場の強風時においてさえ、 $1/5$  以下になるとされている。したがって、ノリ藻体がさらされる流速は、通常の漁場観測結果で示されている流速とは必ずしも一致していない。

## 試験条件

水流の影響を検討した試験例3と4について、その試験条件を第2表に示した。

第2表 水流の影響について検討した例の試験条件

| 試験例 | 実施期間          | 試験区 | 水温 (°C)    |      | 栄養塩類 ( $\mu\text{g-at/l}$ ) |         |         | 日射量<br>(E/m <sup>2</sup> /日) |
|-----|---------------|-----|------------|------|-----------------------------|---------|---------|------------------------------|
|     |               |     | $\Delta T$ | (平均) | 流速 (cm/秒)                   | 無機3態窒素  | 磷酸態磷    |                              |
| 3   | 1986.12.02~11 | 1   | 0 (13.2)   |      | 5                           | 1.4~3.1 | 0.1~0.5 | 9.3                          |
|     |               | 2   |            |      | 10                          |         |         |                              |
|     |               | 3   |            |      | 20                          |         |         |                              |
|     |               | 4   |            |      | 30                          |         |         |                              |
|     |               | 5   |            |      | 40                          |         |         |                              |
|     |               | 6   |            |      | 50                          |         |         |                              |
| 4   | 1986.12.13~25 | 1   | 0 (11.9)   |      | 5                           | 1.9~3.9 | 0.1~0.5 | 8.2                          |
|     |               | 2   |            |      | 20                          |         |         |                              |
|     |               | 3   |            |      | 30                          |         |         |                              |
|     |               | 4   |            |      | 5                           |         |         |                              |
|     |               | 5   |            |      | 20                          |         |         |                              |
|     |               | 6   |            |      | 30                          |         |         |                              |

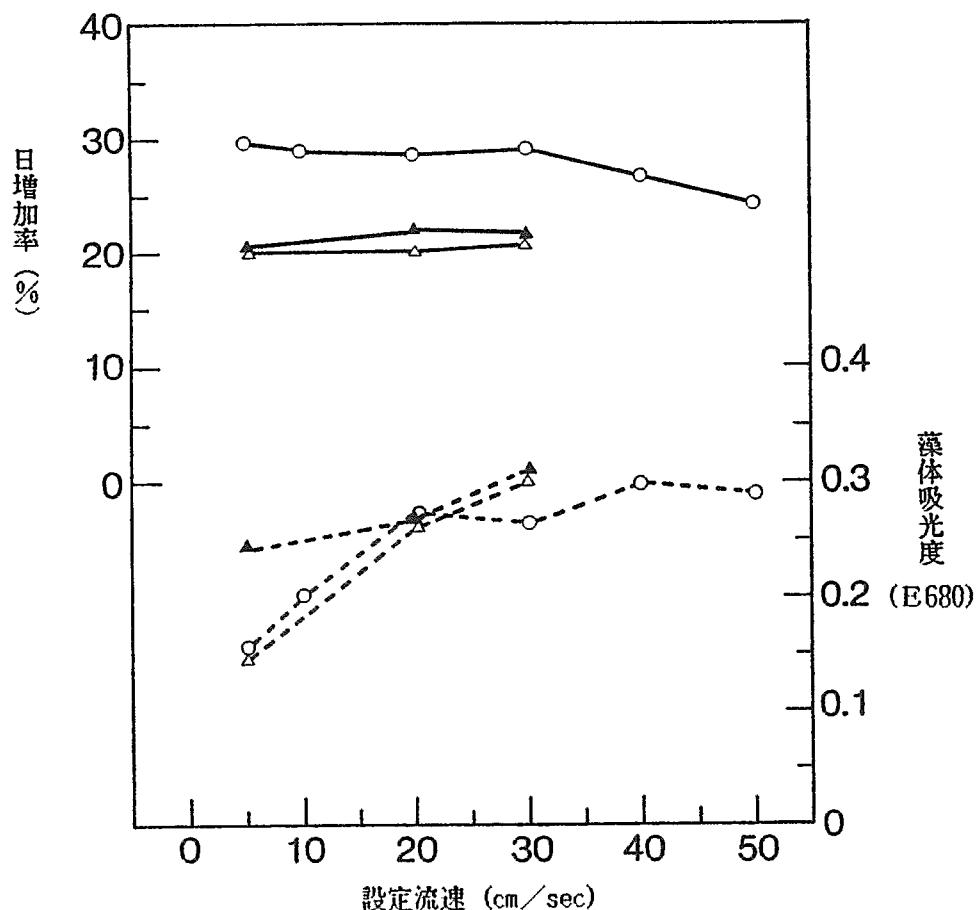
試験例3では、流速を5, 10, 20, 30, 40, 50cm/秒の6段階に設定して、6試験区とした。なお、水温は自然海水温度の1段階として、期間中の平均は13.2°Cであった。また、栄養塩濃度は無機3態窒素で1.4~3.1  $\mu\text{g-at/l}$ であった。この濃度は、ノリ養殖漁場において一般に必要とされている7~14  $\mu\text{g-at/l}$ と比較して、かなり低いレベルにあった。

試験例4では、流速を5, 20, 30cm/秒の3段階に設定し、それぞれの流速段階に栄養塩を添加した試験区を併設して6試験区とした。栄養塩添加としては、硝酸ナトリウム( $\text{NaNO}_3$ )と磷酸2水素1カリウム( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )を用いて栄養塩溶液を作成し、これを海水混合槽に連続的に滴下して行った。期間中の栄養塩濃度は、栄養塩無添加の試験区で無機3態窒素として1.9~3.9  $\mu\text{g-at/l}$ 、栄養塩添加の試験区で10.9~18.9  $\mu\text{g-at/l}$ であった。なお、期間

中の平均水温は、11.9°Cであった。

## 結果

試験例3と4の結果から、水流に対する養殖ノリの生育反応を第13図に示した。ここでは、横軸を各試験区の設定流速とした。実線で示したもののが現存量の日増加率、破線で示したものがクロロフィル量に相当する680nmの藻体吸光度



第13図 養殖ノリの水流に対する生育反応

実線：藻体量の日増加率、破線：藻体吸光度（クロロフィル含量）

○：'86.12.2~11, 平均水温13.2°C, 無機3態窒素 1.4~3.1 μg-at/l

△：'86.12.13~25, 平均水温11.9°C, 無機3態窒素 1.9~3.9 μg-at/l

▲：'86.12.13~25, 平均水温11.9°C, 無機3態窒素10.9~18.9μg-at/l

度であって、いずれも試験開始から 9 日目のデータで示した。丸が栄養塩無添加で流速 6 段階に設定した試験例 3 の結果を、三角が試験例 4 の結果を示している。試験例 4 の結果のうち、白三角で示したのが栄養塩無添加の 3 試験区で、黒三角で示したのが栄養塩を添加した 3 試験区である。

試験例 3 の現存量の日増加率では、流速 5 ~ 30cm／秒の範囲では差が無く高い値を示して、この流速範囲では良好に成長すると考えられた。しかし、30cm／秒を越えると、流速の上昇に伴って日増加率が低下する傾向が見られ、この範囲では流速の上昇に伴って成長が抑制されると考えられた。このような成長の抑制については、これまでに、高流速条件下ではノリ藻体が捻じれて棒状に丸まり、光を受ける面積が減少してしまうためと推定されている。

試験例 4 の結果でも、同様に 5 ~ 30cm／秒の範囲では、流速に伴う成長の差は認められなかった。また、栄養塩無添加の試験区と栄養塩を添加した試験区の間にも差は認められず、したがって栄養塩濃度によっても養殖ノリの成長は変化し難いものと考えられた。ただし、試験例 4 で示した増加率は、試験例 3 のものより全体として低いものであった。これは、それぞれの試験を実施した時期の水温の差によるものである。

破線で示した 680nm の藻体吸光度は、20 ~ 50cm／秒の範囲では差が無く高い値を示した。5 ~ 20cm／秒では、栄養塩無添加の試験区において流速の低下に伴って値が低下した。これに反して、栄養塩類を添加した試験区では、5 cm／秒でも藻体吸光度の低下が認められず、20cm／秒の試験区とほぼ同程度の値を示した。このことは、低流速条件下で見られた藻体吸光度の低下が、栄養塩濃度に依存するものであることを示していると考えられた。また、20cm／秒以上では栄養塩濃度による藻体吸光度の差が見られなかつたことから、この藻体吸光度の低下は低流速条件下に限定されるものであることがわかった。

したがって、水流の機能の一つが栄養塩などの供給であったことから、流速

20cm／秒未満では接触海水の交換が不充分で、無機3態窒素で1.4～3.9 μg-at／ℓ程度の栄養塩濃度では、ノリ藻体の要求を満たすことができず、成長量にみあうだけの色素を合成することができないものと考えられる。

## まとめ

以上のように、水流はノリ藻体のおかれた環境の栄養状態に係わると考えられ、20cm／秒未満の低流速条件下においては、海水中の栄養塩濃度に伴って接触海水の交換不足による色素量の減少が見られた。また、30cm／秒を越える高流速条件下では、露光面積の減少によって成長が抑制されることが確認された。このことから、海水中の栄養塩濃度によっても異なるが、流速20～30cm／秒程度の水流が養殖ノリの生育に適するであろうと推定された。

## 水流条件が異なる場合の水温に対する養殖ノリの生育反応

### ノリ養殖と水温および水流

これまで、ノリ養殖をめぐる環境要因から水温と水流を取り上げ、それに対するノリ藻体の生育反応を検討して来た。その中で、水温はノリ藻体の代謝速度に関わり、成長速度、枯死、脱落の速度を律して、藻体量の増減に影響を及ぼすと考えられた。また、水流はノリ藻体のおかれた環境の栄養状態に関わり、栄養塩濃度が低い場合に水流が不足すると、流速の低下に伴って光合成色素含量が低下すると考えられた。

このことから、異なった水温条件下に生育するノリ藻体はその代謝速度が異なり、周辺環境に対して異なった栄養状態、すなわち異なった水流条件を要求するのではないかと考えられる。言い換えれば、異なった水流条件下において

は、水温に対するノリ藻体の生育反応は、異なった特性を示すのではないかと考えられる。

### 試験条件

異なった水流条件下における水温の影響を検討した試験例5について、その試験条件を第3表に示した。ここでは、水流条件を、流速不足の影響が見られた5cm/秒と、生育に適すると考えられた30cm/秒の2段階とした。そして、各々の流速段階に、実施時期の自然海水温度を基準とした $\Delta T$  0, 3, 6°Cの3段階の水温条件を設定して、6試験区とした。

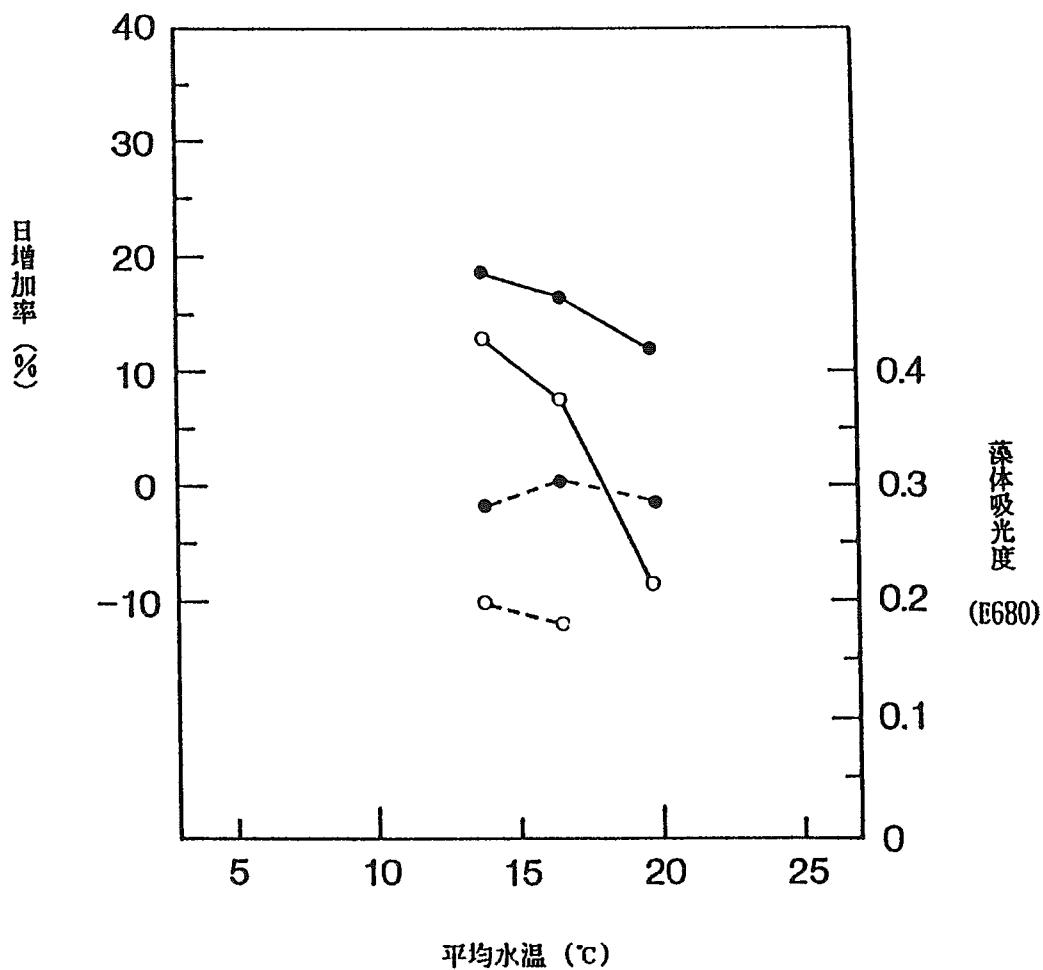
この例では、自然海水の $\Delta T$  0°C区が平均で13.8°Cで、 $\Delta T$  3°C区および $\Delta T$  6°C区がそれぞれ16.5°C, 19.7°Cであった。無機3態窒素は、2.1~4.7 μg-at/lで、低い濃度であった。

第3表 水流が異なる場合の水温の影響について検討した例の試験条件

| 試験例 | 実施期間                 | 試験区 | 水温 (°C)    |        | 流速 (cm/秒) | 栄養塩類 ( $\mu\text{g-at}/\ell$ ) |         | 日射量<br>(E/m <sup>2</sup> /日) |  |  |  |
|-----|----------------------|-----|------------|--------|-----------|--------------------------------|---------|------------------------------|--|--|--|
|     |                      |     | $\Delta T$ | (平均)   |           | 無機3態窒素                         | 磷酸態磷    |                              |  |  |  |
| 5   | 1987.11.25<br>~12.04 | 1   | 0          | (13.8) | 5         | 2.1~4.7                        | 0.2~0.3 | 7.7                          |  |  |  |
|     |                      | 2   | 3          | (16.5) |           |                                |         |                              |  |  |  |
|     |                      | 3   | 6          | (19.7) |           |                                |         |                              |  |  |  |
|     |                      | 4   | 0          | (13.8) |           |                                |         |                              |  |  |  |
|     |                      | 5   | 3          | (16.5) | 30        |                                |         |                              |  |  |  |
|     |                      | 6   | 6          | (19.7) |           |                                |         |                              |  |  |  |

### 結果

試験例5の結果から、水流条件が異なる場合の水温に対する生育反応を第14図に示した。ここでは、横軸を各試験区の平均水温とした。図中に実線で示したもののが藻体量の日增加率、破線で示したもののがクロロフィル含量に相当する680nmの藻体吸光度で、いずれも試験開始から9日目のデータで示した。白丸



第14図 水流が異なる場合の養殖ノリの水温に対する生育反応

実線：藻体量の日增加率，破線：藻体吸光度（クロロフィル含量）

○：'87.11.25～12.4, 流速 5 cm/秒, 無機3態窒素 2.1～4.7 µg-at/l

●：'87.11.25～12.4, 流速30cm/秒, 無機3態窒素 2.1～4.7 µg-at/l

が流速不足の影響が見られる 5 cm/秒の試験区, 黒丸が生育に適すると考えられる 30cm/秒の試験区を示している。なお, 藻体の脱落が著しく, 充分な試料が得られなかった流速 5 cm/秒  $\Delta T$  6 °C 区の藻体吸光度の値は除いた。

破線で示した藻体吸光度では, これまで見てきたように, 水温条件に関わりなく 5 cm/秒で一様に低い値を, 30cm/秒で高い値を示した。実線で示した藻体量の日增加率は, 水温が低い場合は水流条件の違いに伴う差は僅かであるが,

水温が上昇するにつれて差が大きくなる傾向が認められ、30cm／秒の試験区の方が5cm／秒の試験区よりも明らかに高い増加率を示した。

### まとめ

以上のように、水流条件の違いに伴う色素含量の差異は、水温条件に係わりなく認められた。また、低水温の場合は、流速に伴う藻体量の日増加率の差は僅かであったが、水温が上昇するにつれて、水流条件に依存した増加率の差異が認められるようになり、水流条件が好適になることによって藻体量の増加率が上昇する傾向が認められた。

このことは、水温が上昇してノリ藻体の代謝速度が高まった場合は、周囲の環境により良好な栄養状態を要求し、それが水流条件の改善によって満たされることを示していると考えられる。従って、ノリ藻体の生育温度範囲の上限付近では、水温上昇に伴う藻体量の増加率の低下が、水流条件の改善によって軽減される可能性があると考えられる。

### 関連文献

山本正之 (1989). 水流発生装置の実際. 養殖, 26 (13) : 124-128.

木下秀明・渡辺幸彦・山本正之・坂井英世 (1989). 水流および水温に対する養殖ノリの生育反応—I—試験装置の概要—. 平成元年度日本水産学会春季大会講演要旨集: 161.

山本正之・渡辺幸彦・木下秀明 (1989). 水流および水温に対する養殖ノリの生育反応-II—現存量増加に及ぼす水温と水流の影響について—. 平成元年度日本水産学会春季大会講演要旨集: 162.

渡辺幸彦・山本正之・木下秀明 (1989). 水流および水温に対する養殖ノリの生育反応—III —藻体吸光度に及ぼす水流と栄養塩濃度の影響について—.

平成元年度日本水産学会春季大会講演要旨集：162.

山本正之・渡辺幸彦・木下秀明 (1990). 水流および水温に対する養殖ノリの生育反応—IV —水流条件が異なる場合の水温の影響について—. 平成2年度日本水産学会秋季大会講演要旨集：87.

### む す び

養殖ノリの水温と水流に対する反応について、5カ年にわたって生育試験を実施してきた。これらの生育試験を通して、水温はノリ藻体の生理代謝速度に関係し、水流はノリ藻体のおかれた栄養状態に関係すると考えられ、それぞれの好適範囲が推定された。そして、水温が上昇してノリ藻体の代謝速度が高まった場合は、周囲の環境により良好な栄養状態を要求するようになり、それが水流条件の改善によって満たされることが示された。

わが国においては、発電所の温排水は $\Delta T 7^{\circ}\text{C}$ 以下で放出される。そして、その後は、拡散、混合、放熱等によって急速に冷却され、放水口の近傍で $\Delta T 3^{\circ}\text{C}$ 程度、その周辺ではさらに冷却されているのが通例である。また、発電所の立地に際しては、周辺漁場との関係から様々な配慮がなされており、温排水のプルームがノリ漁場に到達するようなケースは、極めて希であろう。

また、仮に、温排水のプルームがノリ漁場に到達した場合を想定しても、生育適温以下の場合は海水温度の上昇が成長を促進すると考えられ、適温範囲を越えた場合でも、一般のノリ漁場における栄養塩濃度、海水流動の範囲では成長阻害は軽減される可能性が高いことを、この一連の試験結果は示唆している。

このような意味で、ここで提供された知見は、今後のノリ養殖に対する温排水の影響を考察する上で貴重な情報となろう。





事務局 〒101 東京都千代田区内神田1-18-12 北原ビル ☎(03)3233-4173  
中央研究所 〒299-51 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300番地 ☎(0470)68-5111  
実証試験場 〒945-03 新潟県柏崎市荒浜4-7-17 ☎(0257)24-8300