

アサクサノリの生理・生態に関する研究*

岩 崎 英 雄

(広島大学水畜産学部水産学科)

Studies on the Physiology and Ecology of *Porphyra tenera*

Hideo IWASAKI

Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and
Animal Husbandry, Hiroshima University
(Text-figs. 1-36; Tables 1-18; Plates 2)

目 次

緒 言	135
第 1 部 生 態	
第 1 章 松島湾ノリ養殖場の環境特性	136
第 1 節 調査研究の方法	136
第 2 節 養殖場における環境要因の周年変化	137
第 3 節 ノリの窒素・燐含有量	143
第 4 節 ノリの窒素・燐含有量と環境要因との関係	144
第 2 章 松川浦の環境特性	147
第 1 節 環境要因の変動	147
第 2 節 ノリの窒素・燐含有量	150
第 3 節 可能生産力について	153
第 3 章 ノリの生育と環境要因	158
第 1 節 物理的要因	158
第 2 節 化学的要因	161
第 3 節 塩分濃度と乾燥	168
第 2 部 栄 養 生 理	
第 4 章 アサクサノリの無機栄養要求	171
第 1 節 窒 素	171
第 2 節 燐	176

*東北大学学位論文

第3節	炭素（炭酸ガス）	180
第4節	窒素・燐・酸素の関係	182
第5章	アサクサノリの微量元素要求	183
第1節	アサクサノリの無菌培養	184
第2節	微量元素の要求	187
第3部 生活環の管理		
第6章	培養におけるアサクサノリの生活環とその人工管理	190
第1節	従来の研究	190
第2節	Free-living 糸状体の培養	191
第3節	葉状体の培養	196
第4節	考 察	199
結 語		200
引用文献		202
Summary		207
Plate		208

緒 言

アサクサノリ *Porphyra tenera*, KJELLMANは紅藻類, ウシケノリ族の一種で古くから太平洋側の内湾浅海で養殖され, その乾燥製品は海苔として多くの人に親しまれている重要な水産嗜好食品の一つである。

このアサクサノリは KJELLMAN¹⁾ によって始めて研究され *Porphyra tenera* の学名が与えられ, その後岡村²⁾³⁾⁴⁾, 殖田⁵⁾, 田中⁶⁾等により主に分類学的研究が行なわれてきた。その生活史については越夏形態が不明のまま長い間論議の課題となっていた⁷⁾⁸⁾⁹⁾, 1949年 DREW¹⁰⁾ が *Porphyra umbilicalis* チシマクロノリの糸状体について報告し, その後我国でも右田¹¹⁾, 新崎¹²⁾がアサクサノリの果胞子の培養実験からその可能性について述べ, 黒木¹³⁾は果胞子の培養実験と海における観察からその越夏形態を明らかにした。即ちアサクサノリの果胞子は糸状体となり貝殻に穿孔して夏を過し, 夏に単胞子嚢を形成して9~10月に単胞子を放出する事が黒木¹³⁾, 曾等¹⁴⁾¹⁵⁾によって確認された。

一方, その生理に関する研究は極めて少なく, 富士川¹⁶⁾¹⁷⁾の報告があるだけで不明の点が少なくない。これは培養の技術的困難性に基因するものと考えられる。

アサクサノリの如き下等藻類においては, その形質発現や生理作用等環境条件によって支配され易い事は容易に考えられる事である。従ってその相互関係を究明する事は学術的な見地許りでなく, 産業的な養殖管理の立場からも重要な問題である事は論をまたないであろう。更に海洋, 就中内湾の生産性という基本問題に関連して, 一次生産者である植物の栄養生理は重要な研究課題となっている。

著者は松平近義教授のお薦めにより主に上記の観点からアサクサノリの生理・生態学的研究を進めて来た。最初に東北地方における二, 三のノリ養殖場の海洋化学的研究を行ない, その環境特性を明らかにすると共に海水中の成分とノリの生産及び窒素・燐含有量との関係について考察を行なった¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾。次いで生理の研究に入ったが長期間の培養が困難なため二, 三の生理的性質の測定に止まらざるを得なかった²¹⁾。その生理を明らかにするには培養を可能にする事が前提となるので, 基本的な培養の物理・化学的条件から吟味を行なった²²⁾²³⁾²⁴⁾。この研究には予想外の長日月を要したが1957年に至り遂に培養が可能となった²⁵⁾。1959年からニューヨークのハスキンス研究所において紅藻類の無菌培養を試みる機会を得, その栄養生理, 殊に微量要素の要求について若干の知見を得る事が出来た。1960年, アサクサノリの糸状体を貝殻等の基質を使用せず合成培養液だけで培養する事に成功し, 葉状体と共に周年培養が維持出来る様になり, その生活環も人為的に調節管理出来る様になった²⁶⁾。その研究の一部は小論文として順次発表して来た。一方, 本研究を続行しつつある間, 本研究と目的を一にする研究, 或は本研究の目的に添う研究も二, 三発表されている²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾³²⁾³³⁾。

本研究の主目的はノリの生産に影響する環境要因を明らかにし, 培養実験によってその生理的性質を究明し, 人工的にその生活環を調整管理する事を試みると共に長年論議されている海水中の未知の生長促進物質について検討する事にある。

今, ここに今迄に行なった東北地方のノリ養殖場の環境特性, アサクサノリの生理に関する研究, 及び培養によるノリの生活環の人工管理に関する実験結果等について総括して述べると共に海水中の微量要素についても現在迄に判明した結果を要約して述べ, 今後の研究の参考に供したいと思う。

本論文を草するに当り, 本研究に入る端緒を与えられ且つ終始御指導を賜った東北大学教授松平近義博士, 論文の御校閲と共に有益な御助言を戴いた同今井丈夫, 土屋靖彦両博士に衷心より感謝の意を表す。また研究に対し有益な御助言を戴いた東京大学教授新崎盛敏博士, 実験材料等について種々便宜を計って戴いた東北海区水産研究所黒木宗尙博士に対し深甚なる謝意を表す。本研究の一部は文部省科学研究助成金でなされた事を附記して併せて謝意を表す。

第 1 部 生 態

第 1 章 松島湾ノリ養殖場の環境特性

東北地方のアサクサノリは一般に品質が劣るといわれ、豊凶の変動も少なくない。この原因については種々の推測がなされているが裏付けとなる資料は極めて少ない。ノリの品質についてはノリの品種や製造処理にも問題はありと思われるが、同じ養殖場においても場所により大分異なる事は一般に認められており環境要因に負う処が極めて大きい様に考えられる。以上の観点からノリの生産及び品等と環境要因との関係を解明すべく調査研究が企劃された。養殖場としては地形の上から代表的と思われる松島湾と松川浦を撰び、ノリの品等の指標としては窒素・燐含有量を使用した。ノリの窒素含有量は商業的品等の指標になるといわれており(奥田・中山³⁴)、又、燐は海洋における植物の生産に重要な生態的意義を有するためである。

第 1 節 調査研究の方法

この調査は1950年6月から1951年6月まで、月に1～2回小潮時の高潮時に実施された。観測地点をFig. 1 に示す。

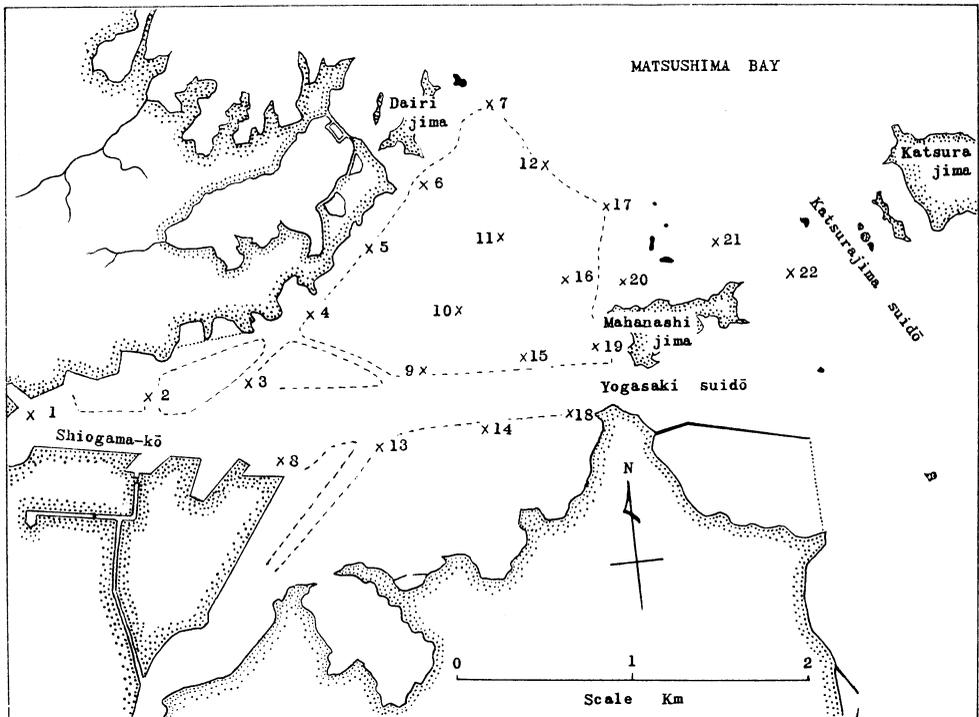


Fig. 1 Sketch map of the cultural ground of laver (*Porphyra*) and stations of observation in Matsushima Bay (1951).

採水は表層と底層で行ない、St. 1, 13, 14, 18, 21及び22ではこの他に2 m, 5 mの深度からも行なった。

海水の化学分析

1. 塩素量の検定は KNUDSEN の方法に従って行なった。
2. 海水の触媒活性度は松平³⁵⁾の微量定量法に従った。
3. 栄養塩類の中、アンモニウム塩の定量は WATTENBERG法³⁶⁾を改良して行なった。原法によると高塩分濃度の海水では沈澱を生じ易く比色定量の妨げになるので、この沈澱を防止すべく若干の改良が加えられた。即ち、50ml のエルレンマイヤーフラスコに、0.5%の水酸化ナトリウムを含むロッシェル塩溶液 1 ml を前もって加えておき、25ml の海水を静かに振盪しながら滴下する。次に 9 規定の水酸化ナトリウム溶液を 1.5ml 加え静かに振盪した後、更に 0.5ml のネスラー試薬を加え振盪する。ここに使用されたネスラー試薬は WINKLER の改良法³⁷⁾に基づくものである。比色法は原法に従って行なわれた。他の栄養塩類の定量は海洋観測法³⁸⁾に記載されている常用法によって行なわれた。

ノリの窒素・燐の定量

ノリに含まれる窒素・燐量の定量は海洋観測と併行して行なった。ノリの材料としては生育場所と採取日時の明らかな乾ノリ製品を選択使用した。即ち、試料から任意に 5 cm²に切りとったものを各々 5 枚用意し、秤量後乾燥器で 110°C の温度で約 1 時間乾燥、デシケーター内で冷却した後迅速に秤量を行ない分析に用いた。燐の定量は COOPER³⁹⁾のプランクトン分析法に従い硫酸と過酸化水素を用いて分解し、比色法により分光光度計を用いて定量した。窒素量は PARNAS & WAGNER 原法⁴⁰⁾の微量定量法 (Microkjeldahl 法) に従って行なわれた。

第 2 節 養殖場における環境要因の周年変化

松島湾は南東部にある 5 つの狭い水道で仙台湾に連絡している水深 2~3 m の比較的浅い内湾である。ノリの養殖場は内湾の西南部に位置しており、主な養殖場を Fig. 1 に示す。環境要因、即ち水温、塩素量、触媒活性度、透明度、栄養塩等に関する観測資料は特徴を示す各養殖場毎にまとめられた。以下に各環境要因の周年変動の様相を要約して述べる。

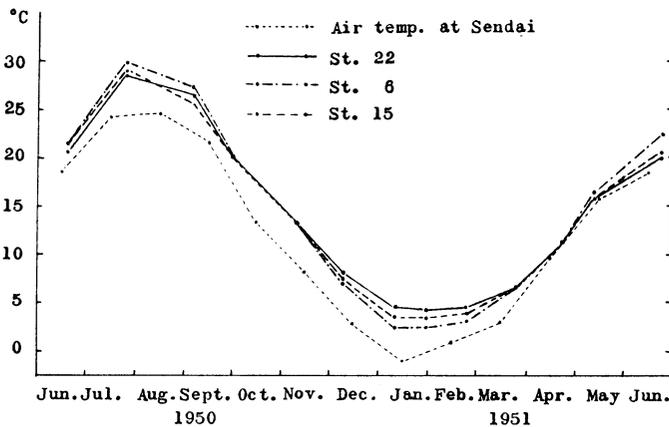


Fig. 2 Temperature cycle in Matsushima Bay.

1. 水 温

養殖場における表層水温の周年変化を特徴的な St 6, 15 及び 22 の各々について Fig. 2 に示す。一般に水温は気温の変化に伴って変化しており表層と底層の温度差も比較少ない。これは養殖場が比較的浅いので風や潮流により容易に攪拌されるためと考えられる。水温は3月より次第に上昇して4月下旬には10°Cに達し、6月下旬から7月上旬に20°Cとなる。7月下旬水温は最高となりSt. 6では30°Cの最高値が観測された。8月中旬から水温は下降し始め、9月下旬には約21°Cとなり12月には10°C前後で、1月上旬になると2~3°Cまで下降する。この傾向はこの湾の東北部にある万石浦で IMAI *et al* (41) が行った観測結果とほぼ一致している。

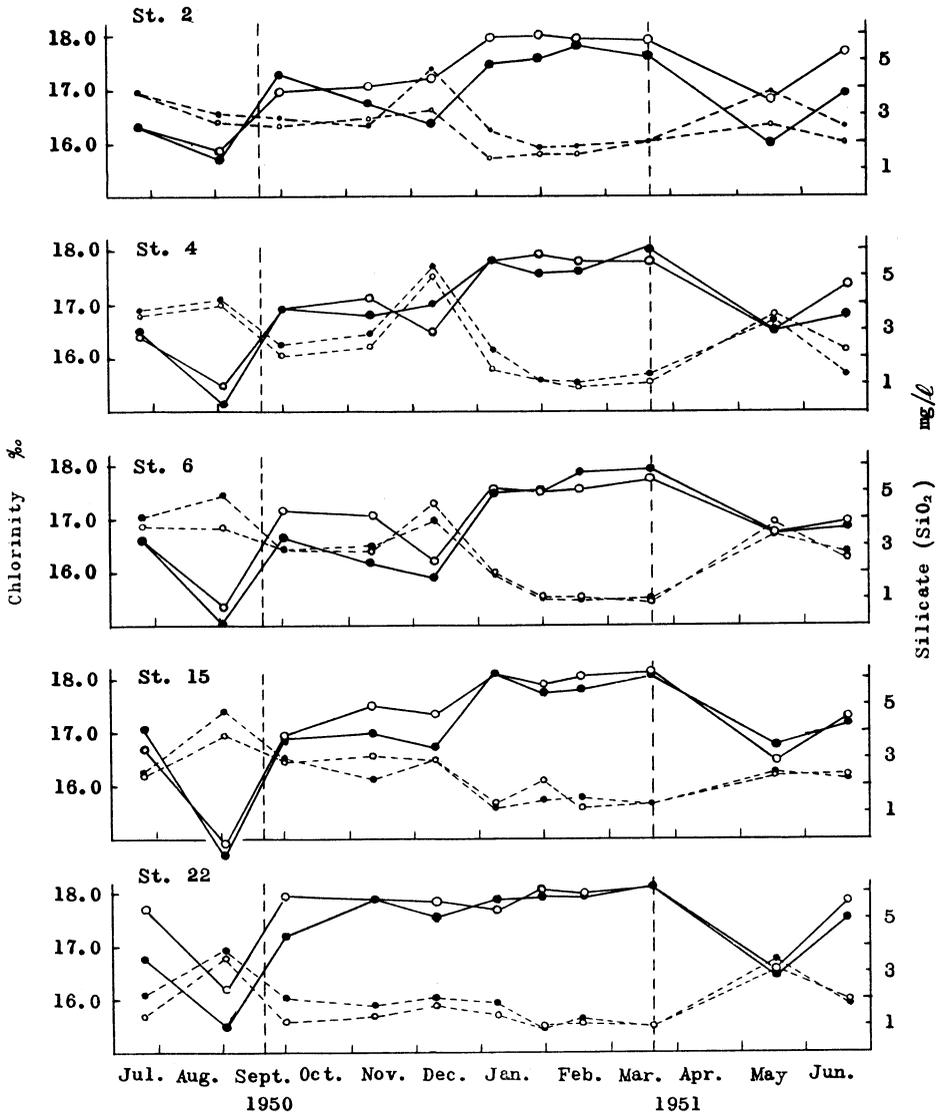


Fig. 3 Chlorinity and silicate in cultural grounds. Solid lines show chlorinity, broken lines silicate. Dots and circles indicate surface, and bottom.

2. 塩素量

塩素量の分布について見ると養殖場の一部では降雨の影響も受ける様であるが、全般的には潮汐により桂島水道を通じて流入する太平洋沿岸水の影響を受けている (Fig. 3)。

塩素量の変動は年間15~18%の間で、養殖期間中は養殖場の西北部における変動が特に著しい。1月に入ると塩素量は各地共一様に急激に増加して18.0%前後に達し、3月下旬までの3ヶ月間高塩素量を示している。この様な著しい変化は親潮の影響で流入する太平洋沿岸水による事はほぼ明らかであり、後述する如く、他の環境要素の変化をもたらしてノリ窒素含量の減少の原因にもなるものと考えられる。

3. 珪酸塩

養殖場における珪酸塩の周年変化は Fig. 3に示される。珪酸塩の量的な変動はおおむね塩素量のそれとは逆の関係が見られる。一般に降雨によって多量の珪酸塩が陸から搬入されるので、塩素量との関係及び地域差については容易に説明出来る様に思われる。

珪酸塩量は SiO_2 として 1~5 mg/l の間で変動している。1月における珪酸塩の著しい減少及び1月~3月の低い値は外洋水流入の影響を良く示している様に思われる。

4. 触媒活性度

すでに HARVEY⁴²⁾及び松平³⁵⁾により報告されている様に、外洋水の触媒活性度は一般に沿岸、内湾水より高い値を示す事が知られている。従って触媒活性度の変化から外洋水の流入を追求出来る様に考えられる。また松平³⁵⁾によれば、海水の触媒活性度は海水中の銅含量及び主に有機物等の抑制物質によって影響を受け、珪藻の増殖をも支配するといわれる。それ故ノリの生態の面から養殖場の触媒活性度の変動を知る事は興味深い事と思われた。

ノリ養殖場の代表地点における海水の触媒活性度の変動を Fig. 4に示す。表層海水は採水器からの銅イオンの溶出を考慮して直接硝子瓶で採水された。従って表層海水の触媒活性に関する資料は正確な活性値を示すものと考えられる。一般に触媒活性度は夏に高値を示し、9月に入ると急に低下しその後次第に減少して12月頃に最低値を示す。1月中旬再び増加して3月まで比較的高い値を示している。この触媒活性度の変動は塩素量の変動に比し、それ程明瞭ではないが傾向としてはほぼ一致している。即ち1~3月の高値は活性度の高い外洋水の流入を示すものの様である。養殖期間中、底層水の活性度は一般に表層水より低く透明度*の変動と類似の傾向の傾向を示している。この内湾における透明度は主に海水中的の浮泥(水の擾乱により海底から浮上する微細泥粒及び有機沈澱物)の量に基づいており、従って底層水の活性度の変化は海底泥からの触媒抑制物質に一部負うているものと考えられる。9月における急激な減少も颱風による降雨によって多量の有機物質が陸地から搬入されるためと考えると良いであろう。要するにノリの胞子付けの行なわれる9月下旬には海水の活性度は低下しており、ノリ養殖の最盛期である10~12月には活性値 $K30 \times 10^8$ が100以下である事は興味深い事実である。

5. 磷酸塩

磷酸塩の周年変化は Fig. 5に示される様に、St. 2~22においては潮汐流による海水の交替の度合に応じ、夫々 St. 2 (湾奥部) と St. 22 (湾口部) の中間の値を示している。湾口に位置する St. 22では周年磷酸塩の量が極めて少なく12月中旬と5月 ($P. 20 \mu\text{g/l}$) を除き $P. 10 \mu\text{g/l}$ 以下であった。1~2月には各地共非常に少なく痕跡的にしか見出せなかった。この磷酸塩の欠乏はこの期間に見られるノリ葉体の黄変現象に対して重要な意義を有するものと考えられる。漁港附近の St. 2における磷酸量は St. 22に比べると遙かに多く、この内湾における磷酸量変動の特徴を示している。表層海水の磷酸量は10月に増加し始め12月中旬には $P. 120 \mu\text{g/l}$ に達した。1月には低下して $P. 15 \mu\text{g/l}$ の最低値となるが、これは貧栄養の仙台湾水の大量流入に基因するものと考えられる。しかし回復は早く2月下旬には $P. 153 \mu\text{g/l}$ の最高値が観測された。その後次第に減少して4月中旬には $60 \mu\text{g/l}$ 前後となり夏の期間中大体この濃度

*本調査においては透明度の測定に特製の直径20cmの白色円板が使用された。

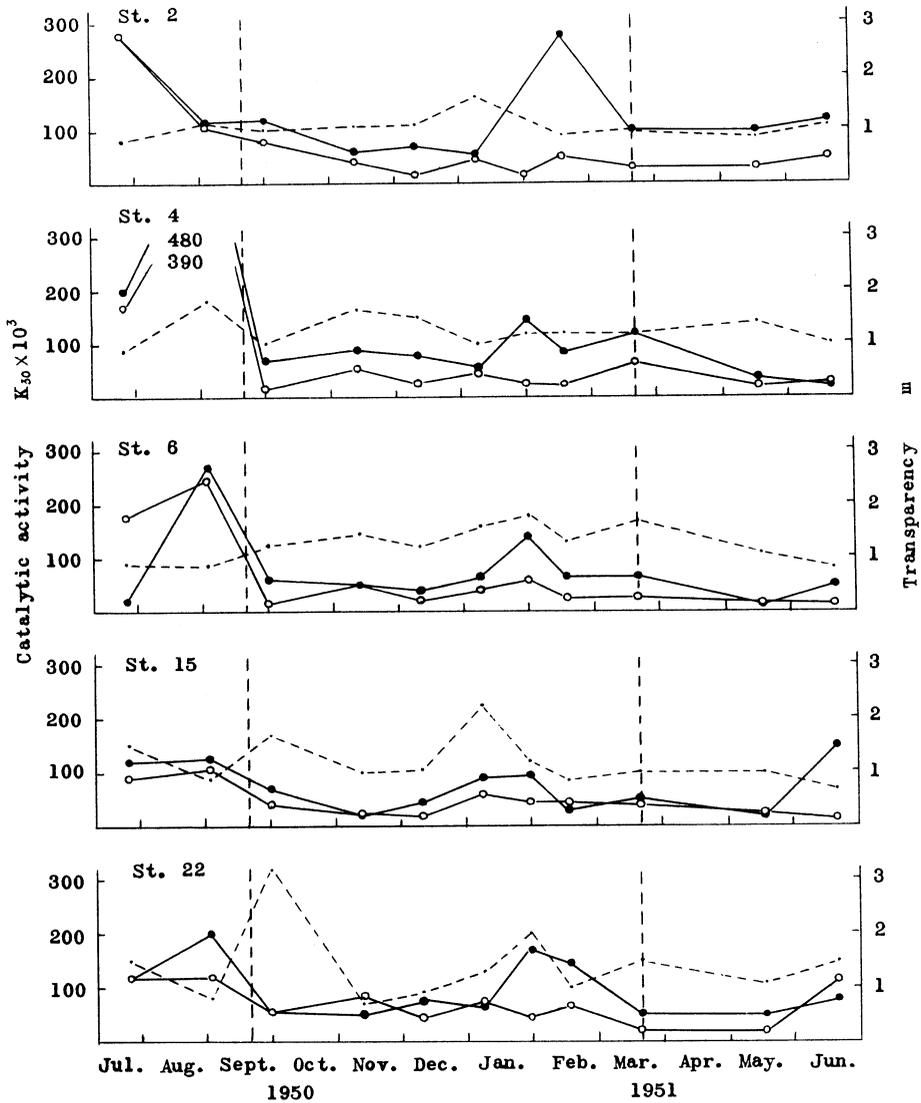


Fig. 4 Catalytic activity ($K_{30} \times 10^3$), and transparency in cultural grounds. Solid lines show catalytic activity, broken lines, transparency (Signs are the same as in Fig. 3).

が維持され、9月に入り $30\mu\text{g}/\text{l}$ と減少している。底層水の磷酸量の変化は表層水のそれとほぼ一致しているが、表層水に比べると大分少ない。従って表層水に見られる高い値は地域的な海底泥からの復帰によるものではなく、磷酸の豊富な港内汚水の影響によると結論出来る様に思われる。他の観測点における磷酸の変動は港内水と仙台湾水との混合割合にほぼ一致しており、養殖場における磷酸は主に栄養塩に富む港内水により補給される事を示している。本内湾の主な養殖場の磷酸量は1~2月の2ヶ月を除き比較的変動も少なく均一で常時Pとして $20\sim 30\mu\text{g}/\text{l}$ を保有している。

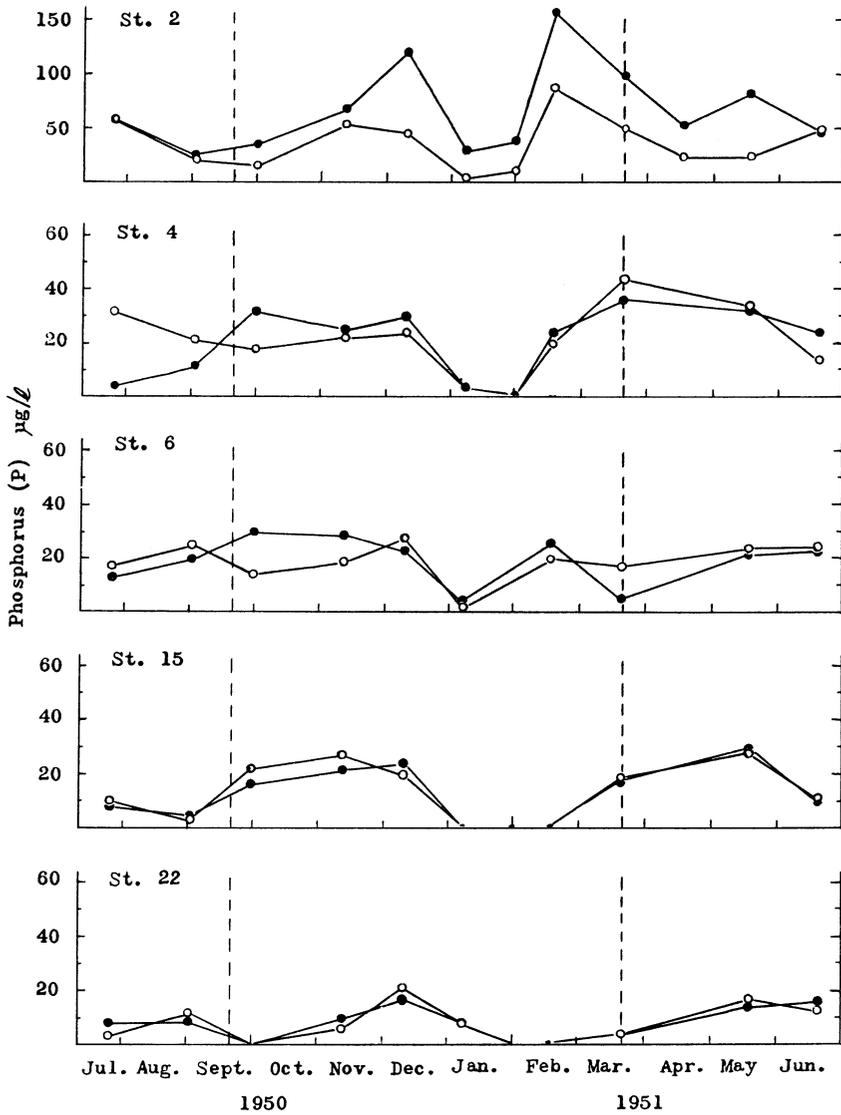


Fig. 5 Phosphorus in cultural grounds (Signs are the same as in Fig. 3).

6. アンモニアと亜硝酸塩

海水中のアンモニア態窒素の季節変化はほぼ磷酸量の変動と類似の傾向を示している。即ち、主な養殖場におけるアンモニアの変動は Fig. 6 に見られる如く、St. 2 と St. 22 における二つの水塊の特徴的な変化に基づいている。St. 22 ではアンモニアの量は非常に少なく、最高の時期でも $\text{N. } 150\mu\text{g/l}$ 以下である。養殖期間中の 1~3 月における窒素の欠乏（各地共 $25\mu\text{g/l}$ 以下）は恐らくノリの生産を決定的に支配するものと考えられる。St. 2 におけるアンモニア量は St. 22 に比べると遙かに豊富で常時 $100\mu\text{g/l}$ 以上の値を示している。夏には約 $900\mu\text{g/l}$ の高値を示したが 9 月には $100\sim 200\mu\text{g}$ に減少し、再び急速に回復して 12 月には 1.3mg/l の最高値を示した。1 月になると $200\mu\text{g/l}$ まで急速に減少しその後また僅かに回復して $200\sim 500\mu\text{g/l}$ の間で変動している。

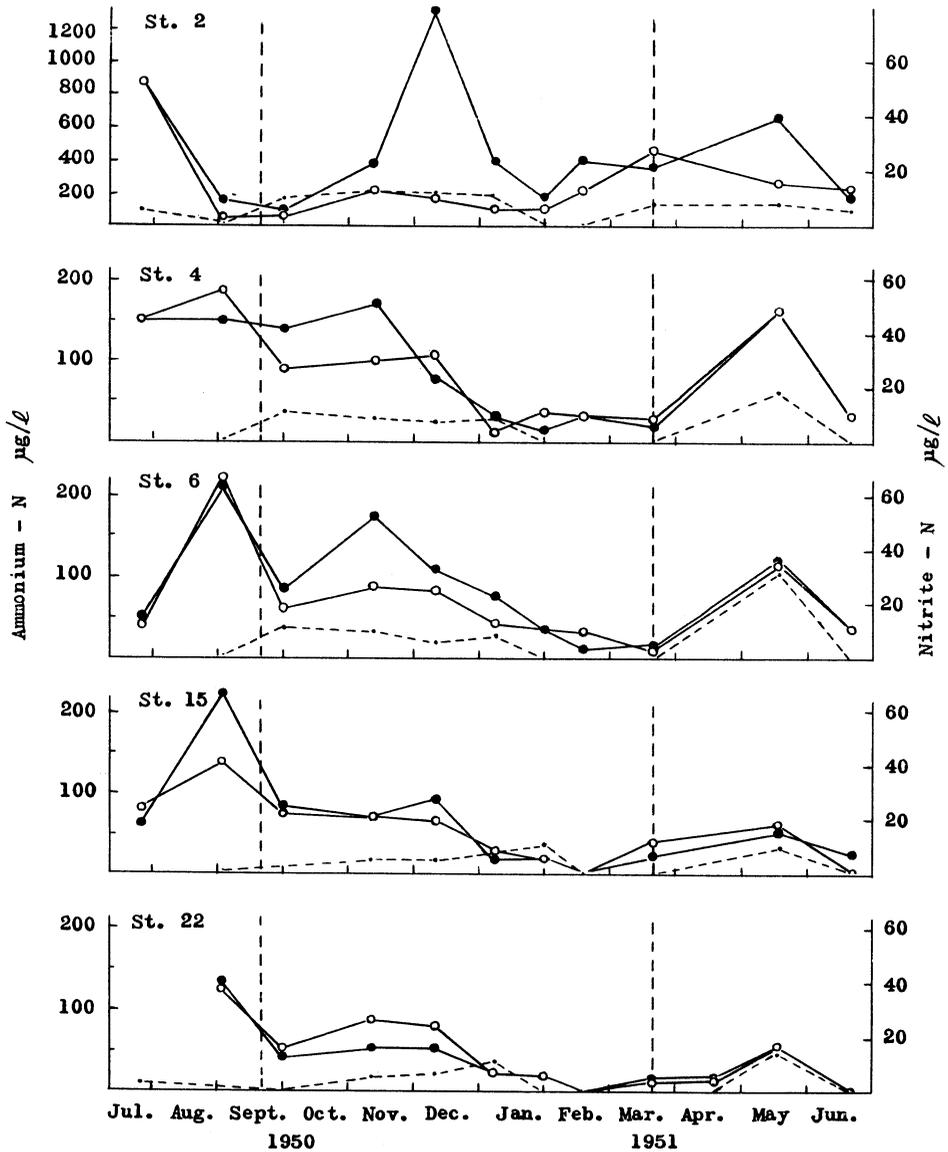


Fig. 6 Ammonium- and nitrite nitrogen in cultural grounds. Solid lines indicate ammonia, and dotted line, nitrite (Signs are the same as in Fig. 3).

他の観測点におけるアンモニヤ量は比較的均一で1年を通してN. 100~800 $\mu\text{g}/\text{l}$ の間で変動している。然し仙台湾水の流入の卓越する1~3月には25 $\mu\text{g}/\text{l}$ 以下の非常に少ない値を示した。従って、養殖場のアンモニヤ態窒素の大部分は磷酸の場合と同様に栄養塩の豊富な港内水によって供給されるものと考えられる。

表層海水中の亜硝酸態窒素の周年変化はFig.6に点線で示される。亜硝酸は9~10月に出現し12月までN. 5~10 $\mu\text{g}/\text{l}$ の濃度で存在している。1~3月に消失し5月には再び出現して20 $\mu\text{g}/\text{l}$ 前後の最高値を示すが、夏には一般に見られない。ノリ養殖期間の養殖場における亜硝酸態窒素量は10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 以下である。

硝酸塩はノリの重要な栄養成分と考えられるが、この湾における硝酸塩の量は少なく正確な値は得られなかった。然し、HARVEY⁴³⁾の方法によって約30 $\mu\text{g/l}$ 程度の硝硝酸態窒素を検出している。松江⁴⁴⁾の品川湾、COOPER⁴⁵⁾の英国海峡における夫々の観測結果によれば、海水中の硝酸塩は亜硝酸塩の約8倍といわれている。この関係から推定するとこの内湾における硝酸塩の量はN. 80 $\mu\text{g/l}$ 以下という事になる。

第3節 アサクサノリの窒素・磷含有量

アサクサノリに含まれる窒素・磷の分析結果をTable 1に示す。ノリの窒素含有量は季節により又地域によっても異なり乾燥重量の3.44~10.05%であった。一般に12月上旬(第1回採取)に生産されたものは7%前後の高値を示したが1月中旬以降は減少している。この減少の度合は場所によっても異なっている。奥田等³⁴⁾によるとノリの全窒素量は商業的品等の指標になるといわれ、一級品の窒素量は6%以上であり他は5%以下といわれる。従ってノリの窒素量に関する限り、1月以降の製品は二級以下と推定される。更に色調の劣る(黄褐色の)ものは常に窒素含量も少なくなっている。

Table 1.
Nitrogen and phosphorus contents of the laver in Matsushima Bay (1951-1951)

Date of sampling	Stations of sampling	N %*	P %*	N : P
Dec. 8, '50	6	7.22**	0.69**	10.4
Dec. 16, '50	//	6.46	0.62	10.4
Jan. 5, '51	//	6.49	0.57	11.3
Jan. 5, '51	11	5.25	0.50	10.5
Dec. 16, '50	4	6.19	0.45	13.9
Dec. 26, '50	//	5.26	0.47	10.8
Jan. 26, '51	//	3.94	0.31	12.7
Feb. 10, '51	//	3.44	0.33	10.3
Dec. '50	16	8.79	0.61	14.5
Jan. '51	//	6.92	0.53	13.0
Feb. 8, '51	15	7.24	0.61	11.9
Feb. 24, '51	//	7.24	0.42	17.1
Mar. '51	//	4.27	0.30	14.3
Dec. 12, '50	2	10.05	0.73	13.8
Dec. 17, '50	//	9.12	0.81	11.2
Dec. 25, '50	//	7.49	0.66	11.3
Dec. 5, '50	8	6.31	0.59	10.7

* Per cent of dry weight.

** Average of five samples.

ノリの磷含有量は乾燥重量の0.30~0.81%でおおむね窒素含有量に比例しており、N/P比は多少の変動は認められるが大体11となっている。St. 15におけるノリのN/P比は12~17と比較的高い値を示した。

これは次節において述べる様に養殖場の栄養塩の影響によるものと考えられる。

第 4 節 ノリの窒素・燐含有量と環境要因との関係

すでに述べた様に松島湾においては 1 月に環境要因が著しく変化し、その後にノリの窒素量が減少し葉体は褪色して黄変する現象が観察されており、これは外洋水の大量流入に原因するものであろうと考えた。この傾向はその後毎年見られている。1954年 1 月のノリ葉体の黄変時における観測の結果を Table 2 及び Fig. 7 に示す。

この時期におけるノリの窒素量の低下は外洋に近い湾口部で著しく、漸次沿岸部に向って拡がってい

Table 2.
Nitrogen and phosphorus contents of the laver in Matsushima Bay in January 1954

Date of sampling	Stations of sampling	N %*	P %*	N : P
Jan. 27.	2	6.85	0.29	23.3
“	3	5.05	0.30	17.0
“	5	5.26	0.38	14.5
“	6	4.72	0.29	16.0
“	7	1.53	0.16	9.3
“	7'	1.85	0.22	8.4
“	9	4.23	0.24	15.6
“	10	2.88	0.23	12.7
“	11	1.81	0.18	10.0
“	12	1.33	0.19	6.9
“	13	5.79	0.29	20.3
“	14	3.84	0.55	7.7
“	17	1.46	0.18	8.2
“	18	2.19	0.34	6.5
“	19	2.47	0.44	5.6
“	20	2.14	0.20	10.5

* Per cent of dry weight.

る (Fig. 7). このノリの窒素量の減少度は外洋水の流入経路と良く一致している (Fig. 8 参照). この結果から、ノリ葉体の黄変は主に貧栄養の外洋水の流入に基づいている事はほぼ明らかである。勿論ノリの窒素量は老幼、成熟及び未成熟等の生物的特性ならびに品種の相違等によっても若干の変動はあるかも知れない。然しながら、生理的な窒素量の変動は主に環境要因に基づくものと考えられる。それ故ノリの窒素・燐含有量に影響する要因を解明するため、ノリの窒素・燐含量とノリ採取時における環境要因との関係が調べられた。その結果、各種環境要因中海水中のアンモニア、燐酸塩濃度及び触媒活性度が重要な意義を有する事が判明した。

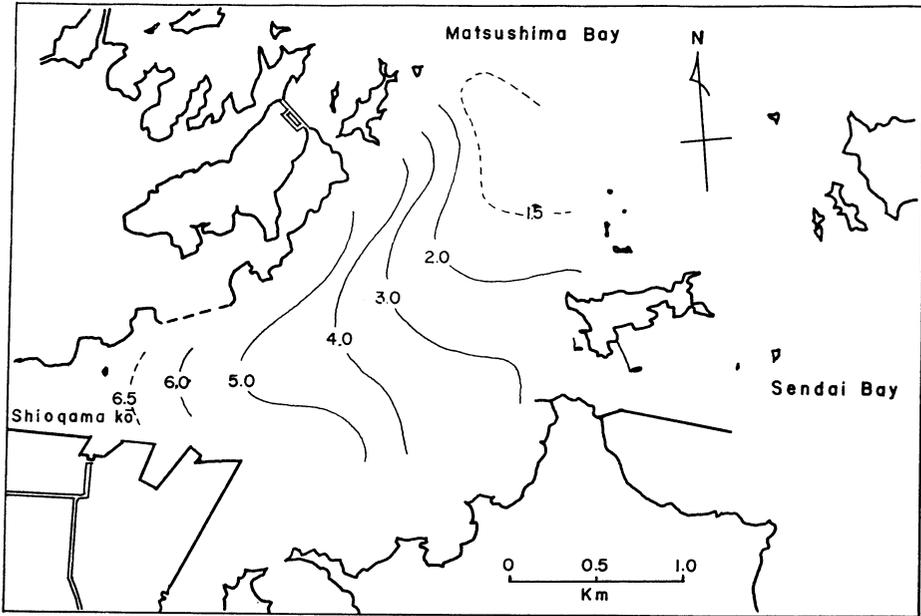


Fig. 7 Local distribution of nitrogen contents of the laver (Jan. 1954). The numbers show nitrogen contents per cent of dry weight.

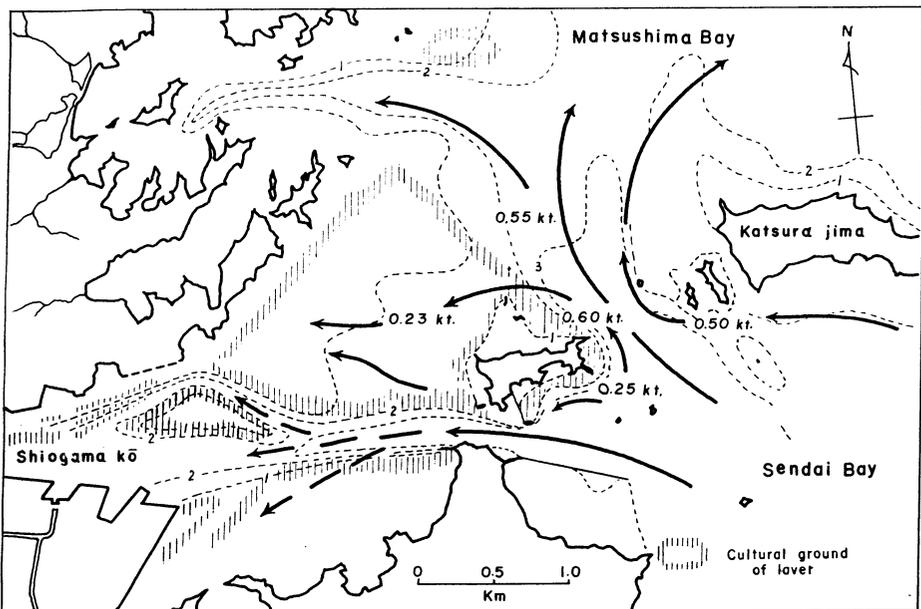


Fig. 8 The mean currents at the moon south in Matsushima Bay (from "SUIRO GEPPPO"¹⁴⁶ Vol. 5, No. 1, 1954, Second Regional Maritime Safety Headquarters).

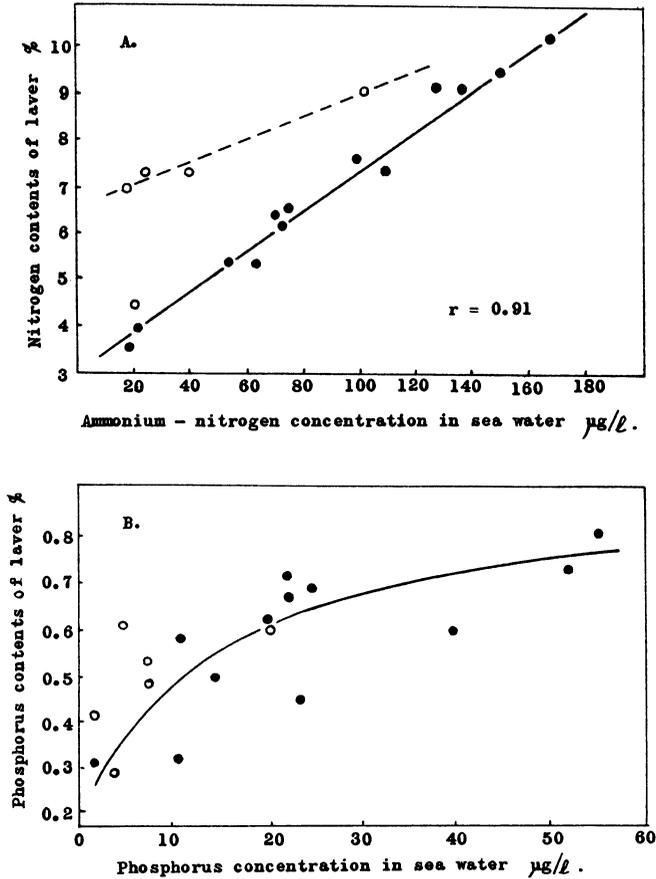


Fig. 9 Relation between nitrogen (A), phosphorus contents (B) in laver and concentration of the nutrient factors in surrounding sea water. Circles show that of St. 15.

ノリの窒素量と海水中のアンモニア濃度との関係は Fig. 9 A に示される。St. 2, 4. 及び 6 においては、ノリの窒素量は海水中のアンモニア濃度と $N 20 \sim 150 \mu\text{g/l}$ の範囲で良く比例しているのが見られる。St. 15 ではノリの窒素量に対する海水中のアンモニア量の影響はそれ程顕著ではない様である。

Fig. 9 B はノリの磷含有量と海水中の磷濃度との関係を示す。黒丸は St. 2, 4 及び 6 から丸は St. 10 からのものを夫々示している。図からノリの磷含量は海水中の磷濃度が $10 \mu\text{g/l}$ ($0.33 \mu\text{g} \cdot \text{atom/l}$) 以下になると急に減少するが、 $20 \mu\text{g/l}$ ($0.67 \mu\text{g} \cdot \text{atom/l}$) 以上では影響は比較的少なくなる傾向が認められる。

HARVEY⁴⁷⁾は磷酸、アンモニア及び硝酸塩等の栄養塩の欠乏により珪藻の光合成率は減少すると報告している。RILEY⁴⁸⁾は1939年9月から1940年6月の間 George Bank 水域で6回の観測を行ない、海水中の磷濃度と植物プランクトンの光合成率との関係を調べた、その結果によると、海水中の磷濃度が $0.5 \sim 0.6 \mu\text{g} \cdot \text{atom/l}$ 以下になると平均光合成率は減少するといわれる。また KETCHUM⁴⁹⁾は *Nitzschia closterium* の培養実験で磷酸 (PO_4) $50 \mu\text{g/l}$ ($P. 0.55 \mu\text{g} \cdot \text{atom/l}$) 以下の濃度では増殖率が減少する事を報告している。従ってもし珪藻の生理がノリの生理に適用されるとすると、栄養塩の欠乏はノリの窒素・磷含量に影響すると同様にノリの正常な生育に対しても大きく影響するものと考えられる事が出来る。この場合ノリの正常な生育を限定する栄養塩の濃度は $\text{NH}_3\text{-N}$, $150 \mu\text{g/l}$ 以下、 P $10 \mu\text{g/l}$ 以下と夫々推定される。実

際にノリの黄変現象はSt.4,6において、1月に海水中のアンモニア及び磷の量が著しく減少し殆んど痕跡となった時に見られている。しかし St. 15においてはノリの窒素量は栄養塩の減少によって余り影響を受けていない。これは代ヶ崎水道からの潮汐流により他の水域に比べて水の交替量が多く、更に低潮時には栄養塩の豊富な港内水の影響を受けるためと解釈される。

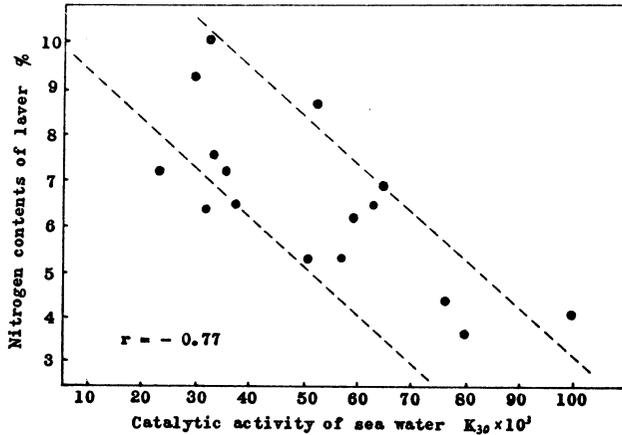


Fig. 10 Relation between nitrogen contents of laver and catalytic activity of surrounding sea water.

Fig. 10 はノリの窒素量と表面海水の触媒活性度との関係を示している。栄養塩の場合に比べると幾分散しているが、ノリの窒素量は海水の触媒活性度 $K_{30} \times 10^3$ が80を越すと4%以下に減少し、活性度の低い程窒素含量は高くなる傾向が認められる。

第2章 松川浦の環境特性

次に閉塞型潟湖の類型として選ばれた松川浦の調査観測結果について述べる。松川浦は福島県の東北端に位置し、その北部にある人工水路で太平洋に連絡している面積約5.05 km²の比較的小きな潟湖である。この浦の主要な産業であるノリの養殖は近年生産が減少しているといわれ、この原因については殖田、新崎及び柴田等によって夫々の専門的立場から意見が述べられている。和田⁵⁰⁾は1939年に湖沼学的な研究を行なっているが、潮汐流による海水の流動については考察を行なっていない。更にその後一部の干拓化、この浦沿岸のイワシ加工業の衰退等によって栄養塩の補給源や分布等当時とは大分様相が異なっているものと考えられた。以上の観点からノリの生産に関与する環境要因について明らかにするため本調査が企劃された。

調査の方法は松島湾の調査の場合と全く同様である。

第1節 環境要因の変動

1. 一般的性状

この浦の底質は西北部及び南部を除き比較的均一な石英砂である。南部の泥地にはアマモ *Zostera* が密生している。潮差は1m前後で深度は落^{ミオ}を除き80cm前後である。1953年10月における全水域の観測結

果から構成水塊を3部に大別する事が出来る (Fig. 11). 即ち,

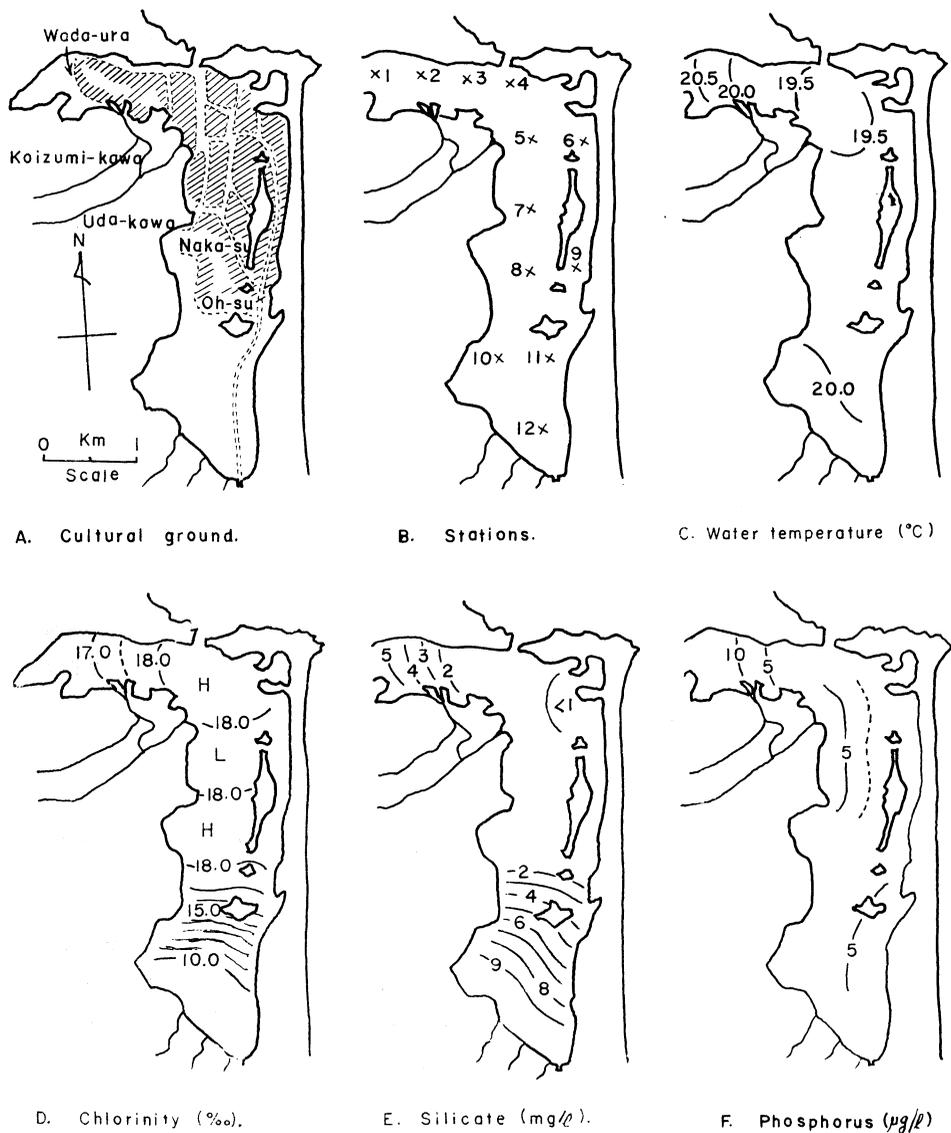


Fig. 11 Sketch map of Matsukawa-ura showing the distribution of cultural grounds (A), stations of observation (B), water temperature (C), Chlorinity (D), Silicate (E) and phosphorus (F).

I. 西北部 (和田地区), II. 南部 (磯部・柏崎地区) の低鹹な淡水性水域と, III. 大州北部の太平洋沿水の影響を受ける水域とである. ノリの養殖場は III 水域にあり, 塩素量 Cl はおおむね浦入口からの距離 D に比例して低くなっている. その水平傾度 dCl/dD は中州西部が最小で, 中州東部がこれに次ぎ, 和田浦が最大となっている. これは流速の目安になると考えられる. 栄養塩類は少なく, 西北部及び南部の一部を除いては殆んど痕跡的にしか見出せなかった. 以上の結果からこの浦におけるノリの養殖場は比

較的高鹹で、太平洋沿岸水の影響を強く受けている事がわかる。

2. 養殖時期における変化

上述の様に太平洋沿岸水の影響を強く受けるので各要素の分布は観測時の潮時によっても異なる事が考えられる。観測はこの影響を充分考慮に入れて潮差の少ない小潮時に行なわれた。養殖場の代表地点と考えられる St. 2 (小泉川口), St. 4 (浦入口), St. 5 及び St. 8 (養殖場の南限) についてその変化を比較検討して見る (Fig. 12 参照)。

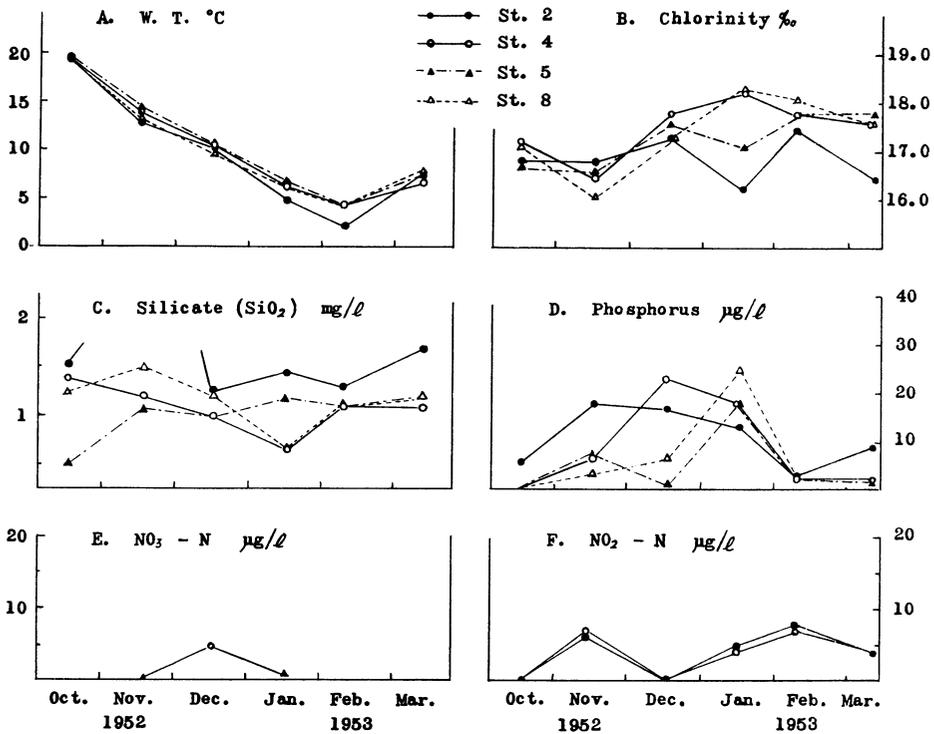


Fig. 12 Water temperature (A), Chlorinity (B), Silicate (C), Phosphorus (D), nitrate-N (E) and nitrite-N (F) in Matsukawa-ura.

a) 水温 養殖場の水温は10月中旬各地共19.5°C前後で大体一致しているが、その後水温の下降と共に地域差が顕著となり2月上旬各地共2~4°Cの最低値を示し、地域差は2°C以上を示した。その後上昇し始め3月中旬の水温は7°C前後であった。この水温は松島湾ノリ養殖場の水温と大差なく傾向も類似している。冬季には小泉川口附近は最も低く、浦入口は一番高くなっている。

b) 塩素量 厳密な意味では比較出来ないが河口を除き他はおおむね一樣な変化を示し、11月中旬より上昇し始め1月中旬に最高の山が見られた。養殖期間中の塩素量は17.4~18.8‰で比較的高鹹であった。

c) 珪酸塩 河口は常に最高値を示し1.2~1.7mg/lであった。他は0.6~1.0mg/lで塩素量と逆の傾向を示し、松島湾、万石浦に比較すると低くなっている。

- d) アンモニヤ態窒素 養殖期間中は St. 8を除き総て40 $\mu\text{g/l}$ 以下で極めて低く、比較出来ない。
- e) 硝酸態、亜硝酸態窒素 河口、浦入口附近に時折出現する程度で他は痕跡しか見出せなかった。
- f) 磷酸塩 12月と1月に比較的高値を示し、P. 10~20 $\mu\text{g/l}$ であった。磷酸量は他の栄養塩類に比べると比較的多いが養殖場としては多いとはいえない。
- g) 溶存酸素量 海水中の溶存酸素量は5~7 ml/l で、養殖期間中は殆んど未飽和の状態で3月に入って漸く飽和に達した。

3. 養殖場としての考察

以上ノリ養殖期間中の環境要因の変動について略述したが、養殖場の大部分は太平洋沿岸水の影響を強く受けており殆んどこれの特徴づけられる。従って栄養塩類は潟湖としては珍らしく少ない。栄養源の補給源として考えられた宇多・小泉両川も水は極めて清澄で、珪酸塩を除き栄養塩類は非常に少なかった。降雨によって補給されても水の交替が良いため恐らく数日以内に流出し去るものと考えられる。他の養殖場の底質は泥地の処が多く、冬季間の季節風の風波により相当量海底から補給されているものと推定されるが、本養殖場の底質は大部分細石英砂からなり海底からの補給は殆んど考えられない。前述した様にこの浦の南部（面積にして全体の約1/4）は泥地でアマモが密生しており、St. 8（養殖場の最南部）ではアンモニウム塩が他の観測点に比べ多かった。この事実から栄養塩の一部は灌漑水ならびにアマモの分解等によって補給されているものと考えられる。しかし、これは量的には少ないので養殖場の栄養塩は主に湾外の沿岸水に依存しているものと考えらるべきであろう。要するに松川浦は栄養塩が乏しいので、養殖場としては積極的な施肥又は落の開さく、ノリ網の整理等について考える必要があると思う。

第2節 ノリの窒素・磷含有量について

ノリの窒素・磷分析の結果を Table 3, 4 に示す。ノリの窒素量は2~6%で大部分は4%以下であり異常に少ない。これは他の養殖場では余り見られない結果である。ノリの窒素量は同じ養殖場でも場

Table 3
Nitrogen and phosphorus contents of the laver at Matsukawa-ura (1952-1953)

Station	Dec. 17		Jan. 17		Feb. 9		Mar. 12	
	N %*	P %*	N %	P %	N %	P %	N %	P %
1	5.73 (22.6)**	0.25	4.22 (15.1)	0.28	5.43 (24.6)	0.22		
2	5.09 (14.6)	0.35	4.04 (17.0)	0.24	5.47 (24.6)	0.44	4.94 (19.9)	0.25
3	4.56 (19.4)	0.24	2.96 (15.0)	0.20	2.82 (9.9)	0.29		
4	4.46 (24.8)	0.18	2.52 (10.8)	0.23	3.99 (10.5)	0.28	4.06 (18.6)	0.22
5	4.46 (24.8)	0.18	2.52 (10.8)	0.23	2.46 (9.8)	0.25	5.39 (18.4)	0.19
6	4.29 (21.2)	0.20	2.13 (10.4)	0.20	2.45 (9.5)	0.24		

7	3.60 (18.5)	0.19	2.63 (14.1)	0.19	2.49 (10.8)	0.23	
8	3.75 (23.6)	0.26	2.21 (10.4)	0.21	2.87 (9.5)	0.30	2.29 (9.0)
9			2.07 (7.2)	0.29	2.15 (9.8)	0.22	
Average of N/P	(21.6)		(13.2)		(12.0)		(16.5)

*Per cent of dry weight.

**shows N:P ratio.

Table 4. Analytical results of dried laver

Date of sampling	Stations of sampling	N %*	P %*	N:P
Dec. '52	9	6.02	0.46	13.1
"	"	6.03	0.47	12.9
"	"	6.52	0.52	12.6
"	8	4.97	0.36	13.8
Jan. '53	9	3.37	0.35	9.6
"	8	3.71	0.33	11.3
"	9	3.41	0.34	10.0
Feb. '53	8	4.28	0.33	12.8
"	9	3.25	0.35	9.3
"	"	3.32	0.33	10.0
"	"	2.28	0.30	9.5
Mar. '53	"	2.66	0.32	8.4
"	"	2.70	0.31	8.6
"	"	1.92	0.21	9.1
"	8	2.26	0.26	9.0
"	9	3.16	0.31	10.1
Dec. '52	2	6.20	0.32	19.3
Dec. 8, '52	3	4.43	0.25	17.4
Dec. 15, '52	"	4.38	0.23	19.5
Dec. 23, '52	"	4.04	0.25	16.4
Jan. 17, '53	2	3.10	0.28	10.9
Mar. 6, '53	3	2.60	0.17	15.5
Nov. 20, '52	7	5.55	0.53	10.5
Dec. 16, '52	7	5.02	0.26	19.6
Feb. 20, '53	7	2.68	0.16	17.0
Mar. 10, '53	"	1.93	0.17	11.5
Mar. 13, '53	"	3.60	0.19	19.0

*Per cent of dry weight.

所によって大分異なるが、大体12月に最高値を示し後次第に減少し、2～3月に至り幾分回復の傾向が見られる。N/P比は8～25であり平均15.1で松島湾の平均11に比べると高くなっている。N/P比も窒素量と同様に一般に養殖の初期に高く漸次減少する傾向が認められる。

ノリ細胞内の窒素と燐の関係を浦入口と浦の奥部 (St. 8, 9) に分けて調べて見るとFig.13の様になる。即ち、浦奥部では窒素量の増加と共に燐の量も増加しており有意な相関が認められた (Fig. 13,上)。

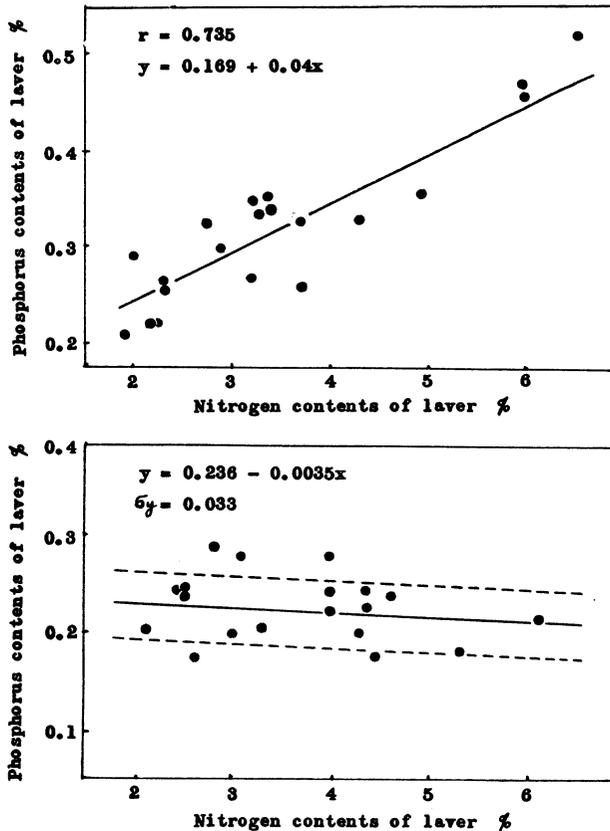


Fig. 13 Relation between nitrogen and phosphorus contents of laver. Upper figure shows that of St. 8, 9, and lower figure, St. 3,4,5 and 6.

また浦入口付近では窒素量の多少にかかわらず燐の量は変動が少なくおおむね一定であった。この原因は不明であるがノリの栄養生理に関係がある様に思われる。

藤原²¹⁾によれば植物(稲)体内の燐酸には代謝に不可欠のものと貯蔵態のものがあるといわれる。上述の結果は貯蔵態の燐の量の差によるものか否か明らかではないが、Fig. 13 (下)は代謝に不可欠な燐の量を示している様に考えられる。以上の結果から、吸収される塩類の比率は環境条件により必ずしも一定ではなく、燐の場合代謝に必須の最低量でもノリは生育する事がわかる。特に海水の流通の良いところでこの傾向は強い様である。アサクサノリではこの代謝に直接関与する燐の量は乾物量の0.2%前後と推定される。

養殖場では以上の事が観察されたがこれらについては生理学的に検討されねばならない。

第3節 可能生産力について

1. 流量観測とその結果

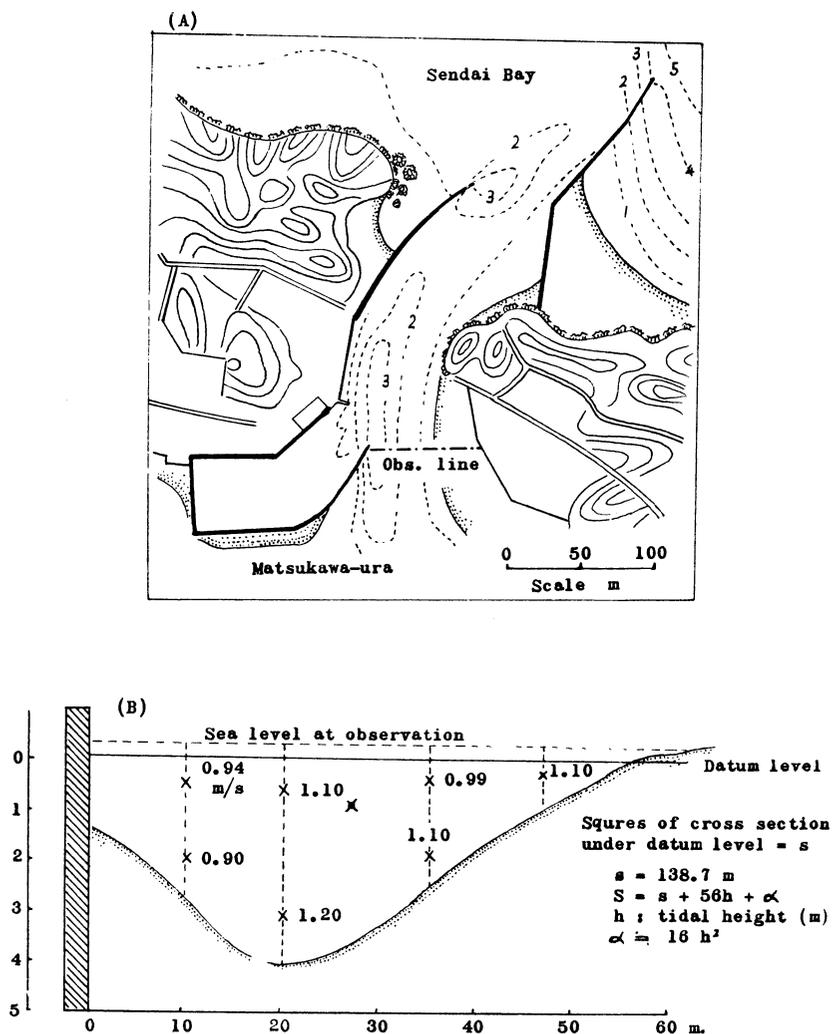


Fig. 14 Sketch map of mouth of Matsukawa-ura (A), and schematic section of the observation line (B).

1953年, 7月の大潮時を選び, 観測線上に4測点を設定し, 二点法⁵²⁾でEKMAN-MERZ流速計を使用して観測を行なった (Fig. 14 A, B, Fig. 15). この結果から代表地点 (図中●印) を決定し, この観測点で漲潮間流速観測を行ない, 一方, 油紙を用い浦内の流向と流速の調査を行なった.

流入量の算式は次に示される.

潮位 hm 時の断面積 Sm^2 は近似的に

$$S \approx s + 56h + 16h^2$$

(S : 基準水面下の湾口の断面積 m^2)

故に潮位 hm 時に S を通しての流入量 $qm^3/sec.$ は $q = Vh \cdot S = (s + 56h + 16h^2) Vh$

(Vh : 潮位 hm 時の流速 $m/sec.$)

1 回の漲潮時の総流入量 Qm^3 は

$$Q = \sum S \cdot Vh = \sum_{h=h_1}^{h_2} Vh(s + 56h + 16h^2) \text{ となる.}$$

以上の計算によると、この時の流入量は約 $5 \times 10^6 m^3$ となる (Fig. 15). 湾口の流速は風の吹送等によ

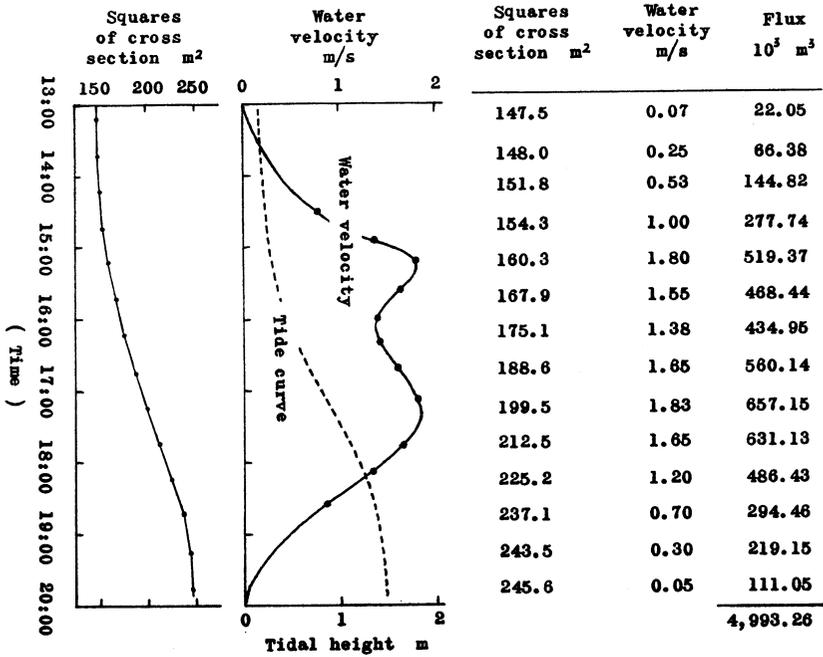


Fig. 15 The water velocity and amount of inflowing water in a flood tide.

っても影響を受けるから単に 1 回だけの観測では年間の正確な流入量は算定出来ない。然し、浦の内外では位相の遅れと若干の潮位の低減は認められたが、流出量はおおむね外海の潮位に比例すると考えて良いであろう。潮汐表⁵³⁾を用いこの近海(鮎川)の月別平均潮位を求め概算して見ると Fig. 18 A の如き結果が得られた。これは 1 日 2 回潮として平均 1 回の流入量を示す。年間平均 1 回の流入量は約 $2.93 \times 10^6 m^3$ であり、浦の面積は $5.05 km^2$ で平均水深を $80cm$ とするとこの浦の水量は $4.04 \times 10^6 m^3$ となり、平均 1 回の流入量は実にその 72% に当たっている。

落潮の際は湾内水は北方に流出し去り (Fig. 16 参照)、入潮の際は同じ水が流入する事は少ない様である。従って湾外水の影響が如何に大きいかわかる。この面からは浅い開放型の渦と大差はない様である。湾内の流速は地形により一様ではないがおおむね湾口からの距離 (D) に逆比例しており、その傾度 dv/dD は西北の和田浦が最大で、中州東部がこれに次ぎ中州西部は最小となっている。これは塩素量の分布から推定されたものとほぼ一致している。流速の大なる事も本養殖場の特徴であろう。湾外水は主に各藩に沿って流入し 7 月の観測時には大州近くまで達した (Fig. 16)。

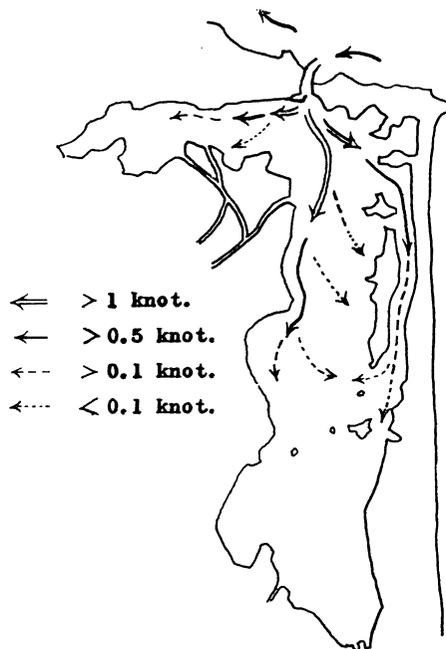


Fig. 16 Tidal current in Matsukawa-ura.

2. ノリの窒素・磷含有量と環境要因との関係

Table 3 から明らかな様に小泉川口のSt. 1, St. 2のノリは良好で、また浦入口のSt. 4のものも良好であった。海水中の窒素化合物量は僅少で地域的に有意な差は見出せなかった。同じ時期のノリについて比較すると、浦入口からの距離の増大に伴って含有窒素量は減少している (Fig. 17)。ノリの窒素量は水

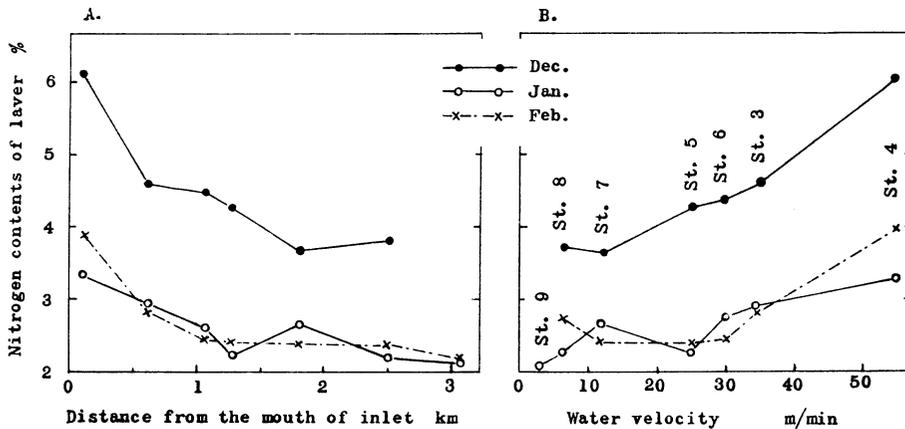


Fig. 17 Relation between nitrogen contents of laver and distance from the mouth of inlet (A), and water velocity based on the synchronous measurements of current at various stations (B).

流と関係がある様に思われたので或一定時に各地の流速を求め、これが各測点の流速比を示すものと仮定してその関係を求めて見ると Fig. 17 B の様になる。この結果からノリの窒素量と流速とは関係のある事は確かであろう。流れの少ない地点 (St. 8, 9) ではこの関係は明瞭ではないが、これは淡水との混合によるためと考えられる。また時期的に差違のあるのは流入する沿岸水の性質及びその流入量とノリ自体の生理に基づくものと考えられる。前述の月別平均1回の流入量とノリの窒素量との関係を求めて見ると Fig. 18 B の様になる。即ち、12月を除き流入量の多い月のノリの窒素量は僅かではあるが多い傾

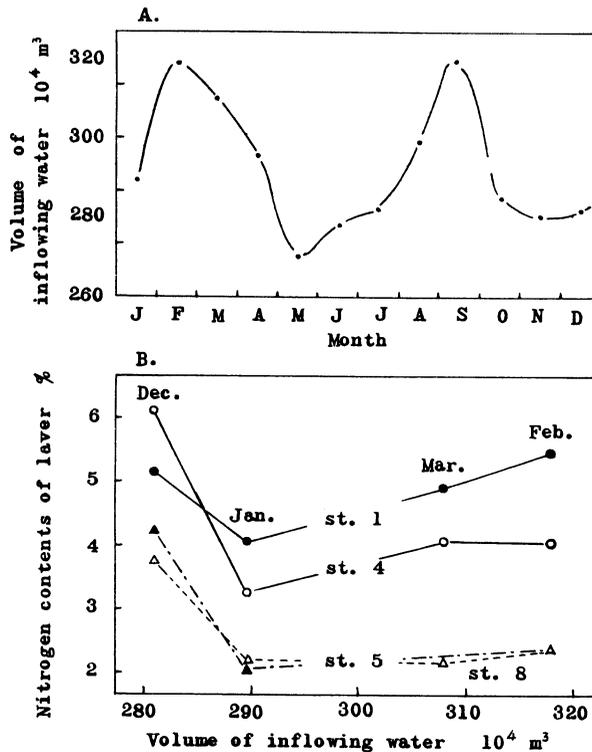


Fig. 18 A: Annual variation in water volume inflowing into Matsukawa-ura.
B: Relation between nitrogen contents in laver and inflowing water volume per a flood tide.

向が認められた。12月のノリはこれと無関係に一般に窒素量が多かった。これは主にノリの葉体の若い事に原因するものと考えられるが、一部には流入する沿岸水の性質(水塊)によるのではないかと考えられる。以上の結果から、松川浦のノリの生産は大部分湾外水に依存している事が明らかである。河口附近の良好なのは栄養塩の差と低鹹な事が考えられるが、恐らく栄養塩類の差によるものであろう(生理実験の結果では低鹹の場合は却って同化力が減退している。後述)。

MUNK & RILEY⁵⁴)は海産植物の栄養吸収は水の流れと密接な関係があるとしてその理論式を与えている。栄養塩の豊富な場合には流れの影響はそれ程顕われないが、乏しいところではその濃度よりもむしろ接触水量がノリの品質に大きく影響する事が以上の結果から考えられる。

松川浦・松島湾の両方共湾入口附近のノリの N/P 比は他の水域に比べ高い値を示している。これ等のノリは貯蔵成分としての磷(フィチン態、無機態磷)が少ない事も考えられるがその生理機構につい

ては不明である。

これを要するに、松川浦では河口附近と浦入口の流速の大きい水域は比較的良好であり、栄養塩の乏しいところでは接触水量が大きな要因になると考えられる。結局、栄養塩濃度×接触水量がノリの生産及び品質に影響すると考えて差支えない様である。

3. 栄養塩の補給量とノリの実生産量について

前述の様に栄養塩類は河川によりまた降雨によっても補給されるものと考えられるが、観測の結果からは判別し難い程度である。今ノリの生育に必要な栄養塩類は流入する湾外水によってのみ補給されるものと仮定して観測値と前述の計算流入量とから養殖期間（11月～3月）における補給量を計算すると、各種窒素塩（N）として17,503 kg、磷酸塩（P）として9,588 kgとなる。一方、同年度におけるノリの実生

品等 地区	上	中	下	計
	松川	把 13,566	把 25,528	把 51,420
和田	1,101	2,434	267	3,802
岩の子	詳細不明			73,140
磯部	2,250	1,000	1,165	4,415
計	16,917	28,962	52,854	171,871

産高は上表の通りである。

ノリ1帖の目方を平均30gとし含有窒素量を上、5.5%、中4.0%、下2.5%とし、磷の含有量を上、中、下共0.4%として計算すると、養殖期間中ノリのみによって消費される窒素・磷の量は夫々1,901kg,206kgとなる。これは補給量（無機塩）のN, 10.9%、P, 2.1%に当り窒素の方がノリの生産に対し限定的

	補給量 kg	ノリによる 消費量 kg	百分比 %
窒素N	17,503	1,901	10.9
磷P	9,588	206	2.1

に作用している様である。この浦の様な条件の下でノリは供給される栄養塩をどの程度利用可能なものであるか、その上限界が問題となってくる。今試みに深さの要素を無視して水平的にのみ考察して見る。

7月の大潮満潮時における塩素量の不連続な線(Fig. 11参照)までの面積を求めてみると約330ha*である。

湾外水の影響する範囲を大体流入量に比例するものとして考えると、その平均面積Sは大約200haである。また同年度のノリ網の建込枚数は次の通りである。

松川地区	和田地区	岩の子地区	磯部地区	計
枚 1,850	枚 2,246	枚 5,065	枚 600	枚 9,751
4.06 ha	4.94 ha	11.14 ha	1.32 ha	21.45 ha

ノリ網1枚の面積を平均22m²（4尺×10間）とするとノリ網の占める総面積は上表下段の様な数字にな

*ヘクタール（10,000m²）

る。これはSの10.72%に当たっている。この数字は先の補給量に対するノリの窒素固定率とほぼ一致している。勿論、深さの要素（非常に浅く80 cm 前後ではあるが）を考慮していないし、またノリ網による流れの減少も当然考えられるから実際のノリの接触水量は総流入量の10%以下であろう。又、降雨、河川による補給量も無視出来ないと思うが両方共概算値であるのでほぼ近いものと見て良いのではなからうか。この様に考えると、ノリは栄養塩を可能な最大限まで摂取利用している様に考えられる。従って栄養塩、殊に窒素塩が欠乏している事は明らかで、生産も限界近くに達しているものと考えて良い様に思われる。

以上、天然におけるノリ養殖場の調査結果からアサクサノリの生産を制約する二、三の要因が明らかになった。ノリの生育する環境について考えると、光、温度、水流、塩分濃度及び各種栄養塩等の多くの要因があり、ある種の要因は比較的恒常的もしくはノリの広い適応性のため直接的な影響は現われないかも知れないが、ノリは絶えずこれ等の環境要素の影響を受けている筈である。従って天然におけるノリの生産はこれ等の複雑な環境要因の総合的な反映と見る事が出来よう。

これ等の個々の環境要因とノリの生育との関係については、養殖適地の選定及びその管理の面からは非明らかにせねばならぬ問題であるが、各種環境要因の複合している天然の養殖場の調査研究からは追求する事が困難であり、予め条件を設定した培養実験その他の室内実験によって確められねばならない、以下にこの観点から行なわれた実験結果について述べる。

第3章 環境要因とノリの生育との関係

第1節 物理的要因

ノリの生物活力の指標について

長期間の培養が困難な状態の下で環境要因とノリの生長との関係を解析するに当たって問題となるのは如何にしてノリの生理状態を判定するかである。著者はこの判定に一定温度、光度の下における光合成活力を使用した。すでに報告²¹⁾した様にノリは同じ養殖場においても生長・色調が異なっており、代表的な地点のノリを採取し色調・窒素含量と光合成活力との関係を調べた結果ほぼ比例的な関係が見出され、生長、色調の良いもの程光合成活力は高値を示した。更に生長は主に光合成によって行なわれ、生長は光合成量と呼吸量によって決定されるとの根拠に基づいて使用された。

厳密には議論もある事と思うが本研究の目的には支障ないものと考えられる。

1. 温 度

アサクサノリの養殖期における水温は各養殖場によって多少異なるがおおむね2~24°Cである。従ってこの範囲内では生長は可能であると考えられる。本実験はアサクサノリの至適水温について知る目的で行なわれた。

海水温度とノリの光合成活力との関係を Fig. 19 に示す。この結果から、ノリの生長に対する好適水温はノリの生育した環境によって若干の相違はある様であるが、おおむね14~16°C であると推定出来る。

富士川¹⁶⁾及び教賀等⁵⁵⁾は26°C 前後で最高の光合成値を得たと報告しているが、それ等はどれも極く短時間に限定され正常な代謝に好適な条件とは考えられない。何となれば、海水温度とノリの呼吸量との関係は Fig. 20 に示される様に対数曲線的に変化し、方程式

$R_t = 0.178 e^{0.116t}$ で近似的に示される。ここで R_t は $t^\circ\text{C}$ における呼吸量 mg Carbon/hr/dry weight, $R_0 (=0.178)$ は 0°C における呼吸量 mg Carbon/hr/dry weight をそれぞれ示す。

この実験では単位重量当りの酸素消費量をマンメーター法により測定して求め、炭素の消費量に換算した。図から明らかな様に呼吸量は26°C で非常に高い値を示しており、生長に好適な条件とは到低考え

られない。

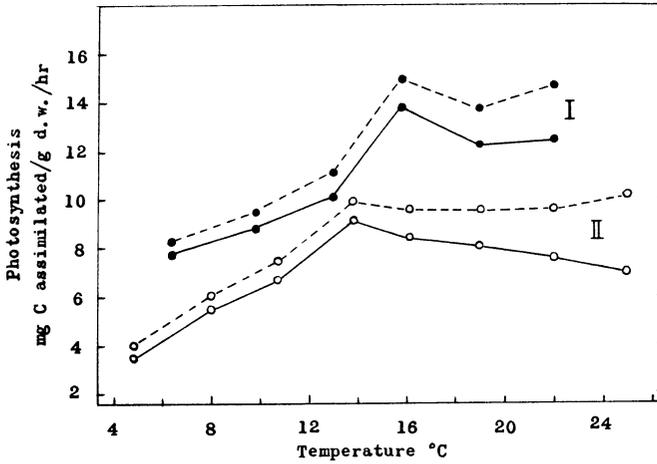


Fig. 19 Relation between photosynthesis of *Porphyra* and temperature. The broken lines indicate photosynthetic rate, and the solid lines indicate photosynthetic rate, net assimilation. I show *Porphyra* from St. 6, and II, from St. 13 (see Fig. 1).

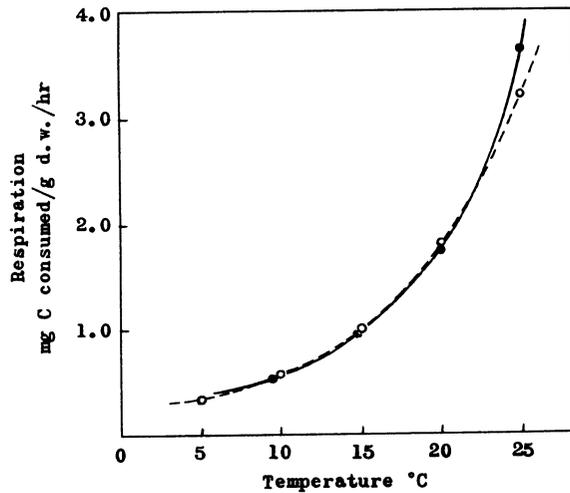


Fig. 20 Relation between respiration of *Porphyra* and temperature. The broken line shows the curve obtained from equation $R_t = 0.178 e^{0.116t}$

本実験においても26°C前後で高い光合成値を示しているが、呼吸量を減じた正味の同化量は却って減少している (Fig. 19 参照)。

2. 光の条件

a) 光質. 従来の海産植物プランクトンの培養では北側窓からの間接光線が良いといわれており、近年においては大量培養の目的に人工光線が屢々使用されている。本実験では発芽間もないノリの幼芽を **Table 5** に示す様な光条件の下で培養を行なった。

Table 5 Growth of the young buds of *Porphyra tenera* under different light conditions

Conditions	Days				Note			
	5	9	12	14				
Sun-light	A*	MSW	++	+++	+++	*** (11.2)	Normal, wide	
		FSW	+	+	++	++-	(1.0)	Unhealthy
	B**	MSW	+	++	++-	+++	(3.0)	Normal, wide
		FSW	+	++	++-	+++	(2.2)	Normal, faint color
Electric-light	Long day 24h	MSW	++	+++		(0.8)	Unhealthy	
		FSW	+	+	disappear			
	Short day 8-10h	MSW	++	+++	+++	+++	(6.5)	Normal
		FSW	++	+++	+++-	+++	(3.5)	Normal, faint color
Fluorescent light	Long day 24h	MSW			disappear			
		FSW			disappear			
	Short day 8-10h	MSW	++	++	disappear			
		FSW	++	++	disappear			

(Exp. from October 8, 1956)

* A : in full sunlight through a window glass, avoiding direct rays

** B : under a shade of one sheet of white cotton-cloth

*** () show average body length in mm.

MSW show miquel's sea water

FSW show filtered inshore sea water

表からノリの幼芽の生長には天然光が最も良く、特に無処理のものが良い事は明らかである。電灯光では1日8~10時間照明の下でノリの生長は早く健全であった。昼光色の蛍光照明の培養では両者共9~12日後に附着細胞附近から色素体が消失し、葉体が崩壊して2週間後には完全に消失した。

以上の実験結果から、ノリの生長には一定週期の暗条件を必要とする事は明らかで、更に生長は光週期によっても影響されるものと考えられる。

b) 受光時間. この実験には女川湾 (1957, 1月) と松島湾 (1957, 2月) で採取したノリの葉体が使用された。即ち、個体差と体の部位による差を除く目的で任意に5 mm 平方に切取って混合し、その中から任意に20片宛取出してミツケル氏海水に移し、夫々1日当りの照明時間を変え8~13°Cで3日間培養後に各々の光合成活力を測定した。測定にはワールブルグの検圧計を使用し、35~40cmの距離から2ケの150Wの電球で照明、16°Cの温度で測定を行なった。その結果を **Fig. 21** に示す。

Fig. 21 から明らかな様に、1日当り8~9時間照明されたノリの葉体は高い光合成活力を示した。従ってノリの生長という面から考えると培養には1日9時間の照明が最適と考えられる。尙、1日当り

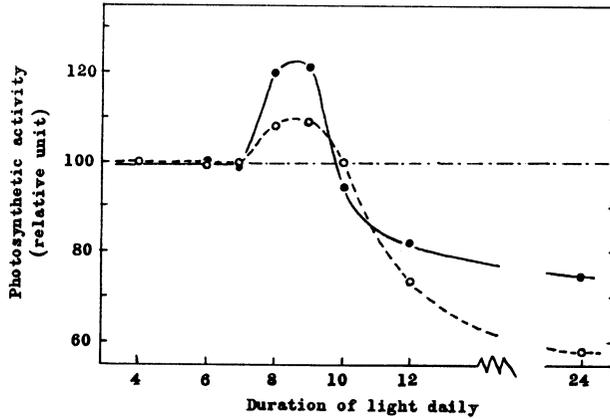


Fig. 21 Effect of photoperiods upon the photosynthetic activity of *Porphyra tenera*. Dots show the samples collected from Onagawa Bay in January, and circles, from Matsushima Bay in February in 1957.

の照明時間は8～9時間を境として、長いよりも短時間の方がむしろ無難であり、好結果を期待し得る事も明らかである様に思われる。

e) 光の強さ。 光の強さとノリの生長との関係については光度条件を設定する事が困難なため詳細な関係は得られていない。即ち、電灯光を使用すると自ずと上限は限定され、更にその際培養液の温度上昇は避けられない。一方、自然光では時間と共に変わるばかりでなく電灯光とは構成光波長が異なるので比較出来ない。著者の行なった実験、即ち、暗室内で200 W のマツダ電球を使用した酸素瓶法による実験によると少なくとも1000 Lux までは光度とノリ葉体の光合成とは比例する事は確かである。一方、敦賀等⁵⁵⁾及び木下等²⁷⁾はノリ葉体の光合成の飽和光として夫々10,000 Lux, 20,000 Lux を与えており、又、著者は2月の晴天の直射光 (1.43 g cal/cm²/min) の下で最高の光合成値を観測している。天然環境では水面近くに養殖されており低潮時には空气中に干出して直射光を受ける事実等を考慮に入れると、温度変化がなければ直射光度 (水面の光度) 以下ではノリの生長には強い方が良いと推論出来る様に思われる。

富士川¹⁶⁾によると、ノリの生育段階によっても至適光度が異なり初期には強い光の下で生長が旺盛であるといわれており、光の強さはノリの生長速度と密接な関係があるので生長に対する至適光度については更に詳細に検討する必要がある様に思われる。然しながら、一般の培養を目的とする場合、温度と光週期とを上述の様に夫々14～16°C, 1日8～9時間照明とするならば直射を避けた自然光までは明るい方が良いと結論出来る様に思われる。

尚、その後の数度の培養実験によって、培養条件として一番重要なのは日週作用である事が確かめられた。

第2節 化学的要因

1. 必要な栄養塩について

ここではノリが必要とし、しかも海水中に欠乏し易いと考えられる物質に関して行なった実験について述べる。

種々の栄養塩を単独に海水に添加した場合のノリの幼芽の生長量を Table 6 に示す。Table 6 から

Table 6 Effect of various nutrients on the growth of young buds of *Porphyra*

Nutrients added	Day				Note
	0 ($\times 10^{-2}$ mm ²)	12 ($\times 10^{-2}$ mm ²)	23 ($\times 10^{-2}$ mm ²)	40 ($\times 10^{-2}$ mm ²)	
Control	{0.013 0.027	1.5	disappear		
NH ₄ NO ₃ (N 5mg/l)	//	1.9	2.5	disappear	
KH ₂ PO ₄ (P 2mg/l)	//	16.3	30.8	30.8	faint colour
Fe-EDTA(Fe 0.5mg/l)	//			2.9	abnormal, narrow
Na ₂ S (1mg/l)	//		2.2	3.8	faint colour
Vitamin B ₁₂ (10μg/l)	//	6.0	3.2	disappear	

(Exp. from October 7, 1957)

Figures show maximim size of 10 young buds.

ノリの初期の生育には磷酸が重要な役割を果している事がわかる。24日以降生長が停止したのは他の微量要素の欠乏によるものと考えられる。鉄(Fe-EDTA)を加えた場合には生長は正常でなかったが40日間生長を続け、硫化ナトリウム添加海水では生長速度は遅いが正常に生長している。この実験においては、鉄を加えたものを除きノリの葉体は褪色した。以上の実験結果は海水中に欠乏し易いノリの制限要素は単独でない事を示している。

2. 窒素源について

海洋においては窒素が植物プランクトン生産の制限要素になり易い事は周知の事実である。従ってノリの生産の際にも当然同様な事が予想せられ、前項の実験結果からも明らかなので、次にノリの要求する窒素源に関して実験が行なわれた。磷(P 2 mg/l, KH₂PO₄)と鉄(Fe 0.5 mg/l, Fe-EDTA)を添加し

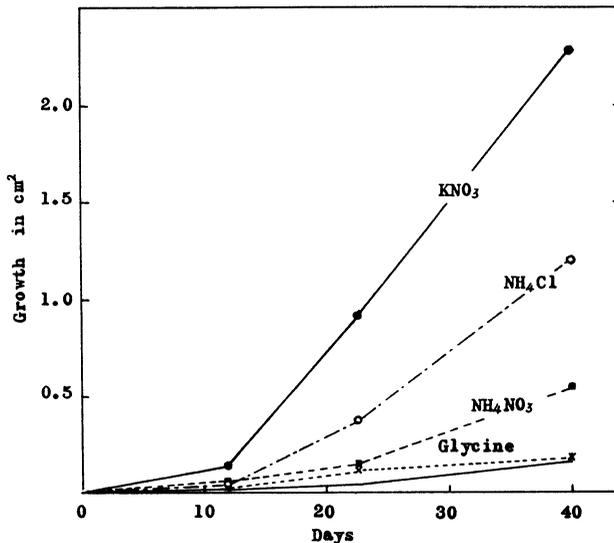


Fig. 22 Growth of the young buds of *Porphyra* in filtered inshore sea water enriched with phosphate and iron (as Fe-EDTA), with addition of various nitrogen sources (1 mg/l, as N). The growth is shown in total of 10 young buds.

た戸過海水に種々の窒素源を加えた場合のノリ幼芽の生長は Fig. 22 に示される。

窒素源としては硝酸態、特にそのカリウム塩 (KNO_3) が優れており、次いでアンモニア態 (NH_4Cl)、硝酸アンモニウム (NH_4NO_3) が良く、何れもミッケル海水に比べて遙かに良い生長を示した。ミッケル海水との組成上の主な相違点は鉄の形が異なっている事である。即ち、ミッケル海水においては鉄はコロイド状態で存在するのに反し、後者においては EDTA との夾合化合物として、真性溶液として存在している。植物プランクトンの培養に鉄を必要とする事は古くから知られており、鉄は弱アルカリ性の海水中では非常に溶解度が低いので、如何なる形で鉄を供給するかが問題とされてきた。実験結果は鉄源として Fe-EDTA を与える事は有効な一方法である事を示している。

有機態ではグリシン、バリンが比較的良好な結果を示し、アミノ酸を加えたものではおおむね正常に生長したが、葉体が狭くなる傾向が見られた。アミノ酸を加えた海水では数日後にアンモニアが検出され、そのまま利用されるものか否かこの実験では明らかにし得なかったが、生成アンモニアと共に一部は利用されたものと考えられる (後述の無菌培養の実験においてこの事実が確認せられた)。この培養では全部ノリは独特の鮮明な色調を示した。この事実は鉄はノリの色素体形成に關与する事を示している。

3. 磷及び珪酸塩

磷は窒素と共に植物の生長に不可欠の要素であるが、海水中には微量にしか存在しないので海洋においては植物生産の制限要素となる事が多い。実験は供給すべき磷の形態について知る目的で行なわれた。種々の磷化合物の添加に基づく光合成量の変化を Fig. 23 B に示す。実験結果は磷の添加によりノリ葉体の光合成量はあまり変化しない事を示したが、これはノリ葉体の磷酸貯蔵作用に原因するのではないかと考えられる(松江⁵⁶), 岩崎²⁰)。図は磷酸源として第1 磷酸カリウムとグリセロ磷酸ナトリウム

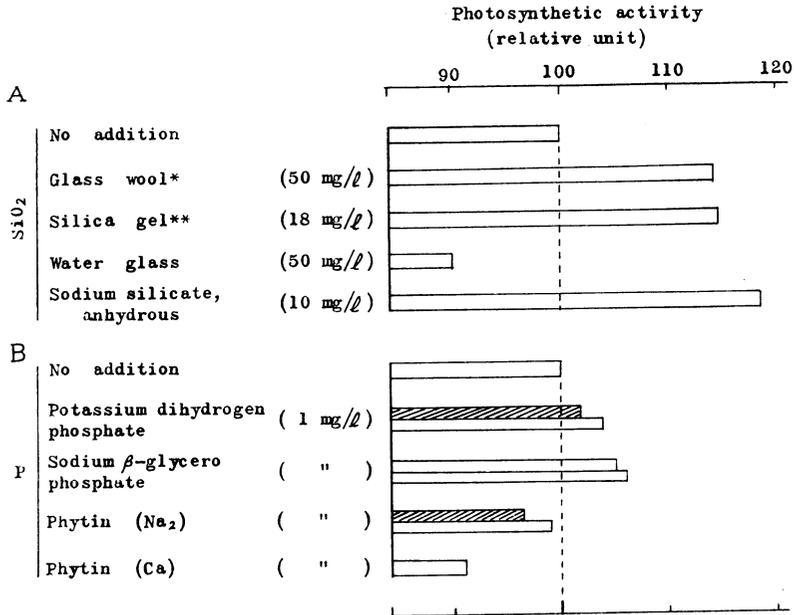


Fig. 23 Effect of adding various silicates (A), and phosphorus compounds (B) on the photosynthetic activity of *Porphyra tenera*.

- * Glass wools were washed by a hot cleaning mixture and distilled water, then rubbed to powder after drying and suspended in distilled water. The filtrate of this suspension was used.
- ** The filtrate of this suspension was used.

が適している事を示している。第1 磷酸カリウムは酸性であり高濃度では鉄等の金属と結合して沈澱し易いので、培養には比較的安定なグリセロ磷酸ナトリウムが磷酸源として好適と考えられる。

一般海藻における珪酸塩の生理的役割については不明であるが、海産珪藻の増殖に必要であり、その添加によって珪藻の増殖が促進される事が報告されている (HARVEY⁵⁷, HARDER & WITSH⁵⁸)

各種珪酸塩とノリの光合成量との関係は Fig. 23 A に示される。即ち、水ガラス態のものを除き、各種珪酸塩の添加は光合活力を高め、ひいては生長をも促進する事は図から明らかであろう。珪素の生理的役割については今後別に研究する必要がある様に思われる。

4. 微量金属

数種の微量金属は藻類の増殖に必要である事が知られており、就中、鉄は総ての海産藻類に必要と信じられている。PIRSON⁵⁹ は藻類及び高等植物における Fe, B, S, Mn, Mo, Zn, V 及び Co の要求とその生理的役割とについて論議を行なっている。マンガン Mn は植物の窒素代謝に関係して重要であり、鉄 Fe と共に植物プランクトンの増殖を促進させるといわれる。

銅 Cu は周知の有毒金属であるが、本実験ではノリの害敵である附着珪藻の除去に銅剤使用の可否を検討するため、ノリの抵抗性が試験された。以下に Mn, Co, Cu 及び Fe に関して行なった実験について述べる。

Table 7 Effect of metal-ions upon the photosynthesis of *Porphyra*

Metal	Concentration ($\mu\text{g/l}$)	O ₂ produced ($\mu\text{l/h/mg}$)	Photosynthetic activity	Catalytic activity
Manganese (20 h. at 13.0°C)	0	7.12	100	
	0.5	7.70	108	
	1.0	6.22	87.4	
	2.5	7.06	99.1	
	5.0	6.93	97.3	
	10	6.70	94.1	
	20	6.62	93.0	
	Cobalt (66 h. at 13.0°C)	0	7.25	100
20		7.74	107	12
50		7.47	103	$K_{30} \times 10^3$ 21
100		7.13	98.4	49
200		6.82	94.1	77
500		6.48	89.4	143
Copper (120 h. at 17.2°C)	0	17.75	100	5
	10	17.95	101	44
	20	12.30	69.3	60
	40	12.42	70.0	$K_{30} \times 10^3$ 94
	100	10.30	58.0	338
	150	7.82	44.1	544
	300	3.57	20.1	564

a) Mn, Co 及び Cu. 海水中における Mn, Co 及び Cu の濃度とノリの光合成活力との関係は **Tabel. 7** に示される。

即ち, Mn においては $0.5 \mu\text{g/l}$, Co では $50 \mu\text{g/l}$ までの濃度で光合成活力を 3~8% 程度高めるが, それ以上の濃度では阻害的に作用する。一方, Cu イオンは $10 \mu\text{g/l}$ 以内では無害であるがそれ以上の濃度になると害作用が現われてくる。

b) 鉄 Fe 前にも述べた様に, アルカリ性溶液における鉄の溶解度は極めて低く, 海水中に溶存可能な量は $10^{-4} \mu\text{g/l}$ 以下といわれる (COOPER⁶⁰)。従って, 鉄を如何なる形で供給するかが問題とされ, 論議が繰返されて来た。キレート物質として知られる EDTA (ethylene diamine tetra-acetate) は pH6 以上の溶液においてその 1 モルは金属 1 モルと夾化合物を作る事が知られているので, 本実験においては Fe-EDTA を作り従来の報告に見られる各種鉄化合物との比較実験が行なわれた。実験の結果は **Fig. 24** に示される。この図から生育した環境により多少の差違は見られるが一般に鉄化合物の添加はノリの光合成活力を高め, 特に Fe-EDTA の形で与えられた場合において著しい事がわかる。

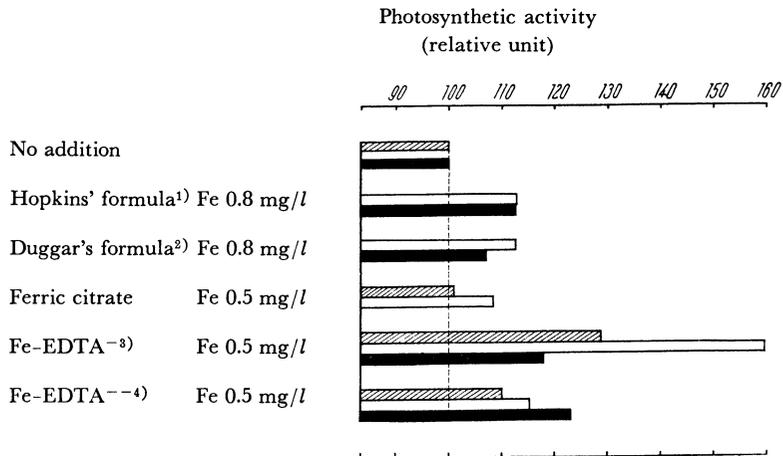


Fig. 24 Effect of adding various ferric compounds on the photosynthetic activity of *Porphyra*.

1) 10^{-4} mol of sodium citrate and feric chloride.

2) Ferric citrate 5g + KH_2PO_4 5.5g in 1 liter.

3) Chelation from $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$

4) Chelation from $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

■ *Porphyra* collected from Matsushima Bay, □ from Onagawa Bay,

▨ from Matsukawa-ura (signs are the same for following figures).

ノリの光合成活力に及ぼす鉄化合物の影響度はノリの生育した環境によって異なる事も実験結果より明らかである。鉄の光合成促進の機作については種々考えられるが, この場合は主にノリ葉体自身の鉄欠乏に基づいているものと考えて差支えない様である。この観点から生育環境の異なるノリ, 即ち, 生物活力の異なるノリ葉体について Fe-EDTA 添加の影響が実験された。実験結果は **Fig. 25** の如くで

一般に生物活力の低いもの程影響は大きい様である。換言すれば、鉄の供給は生理機能が衰え弱っているノリに対しては特に効果的であるといえる。ノリの生物活力を支配する環境要因としては、光、温度等の物理的要因及び海水中の塩素量、栄養塩類等多くの要因が考えられるが、少なくとも実験材料の得られた松島湾においては、海水中の鉄の欠乏がノリの生物活力低下に大きく関係している事は本実験結果より明らかである。

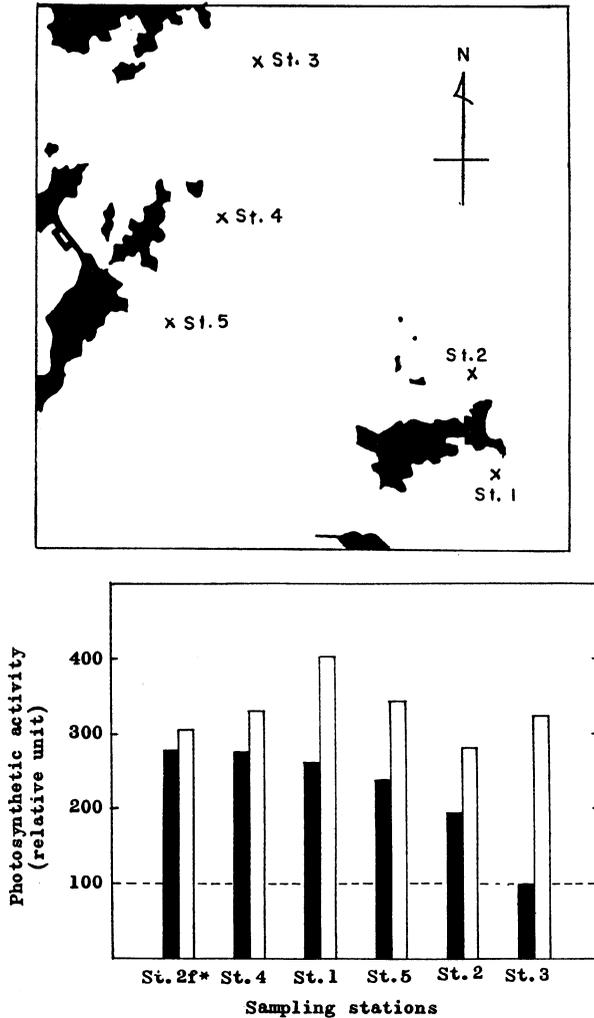


Fig. 25 Effect of adding Fe-EDTA (0.5mg/l, as Fe) on the photosynthetic activity of *Porphyra tenera* grown at different area in Matsushima Bay. Upper figure shows sketch map of smpling stations.

* *Porphyra* fronds collected from floating "hibi" at St. 2.

■ Photosynthetic activity of the fronds before addition of Fe-EDTA to sea water.

□ Photosynthetic activity after the addition.

c) 金属キレート化合物 数種の金属キレート化合物の添加とノリの光合成活力との関係は Fig. 26 に示される。即ち、Fe-EDTA, Mn-EDTA, Cu-EDTA 及び Co-EDTA の添加によりノリの光合成量は著しく増加し、対照のものに比べ20~60%の増加が見られた。

これ等の金属キレート化合物のノリ葉体に対する生理・生化学的機能については不明であるが、一般に金属キレート化合物になると毒性が少なくなり、しかも溶解度が著しく高まる事から海水中にノリの生長に必要なこれ等の金属が欠乏している事が示唆される。

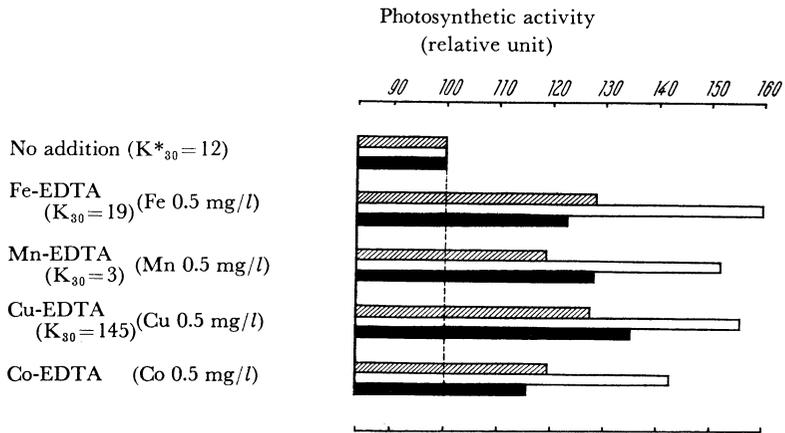


Fig. 26 Effect of adding several metal chelating compounds on the photosynthetic activity of *Porphyra*.

* Catalytic activity $K_{30} \times 10^3$.

一方、B, Zn 及び Mo のキレート化合物はその生理的重要性にもかかわらず、その添加によって光合成量の増加は見られなかった。

5. その他の生物活性物質

実験に使用した硫化ナトリウム、グルタミン酸ナトリウム、ビタミン B₂ 及び B₁₂ の影響については

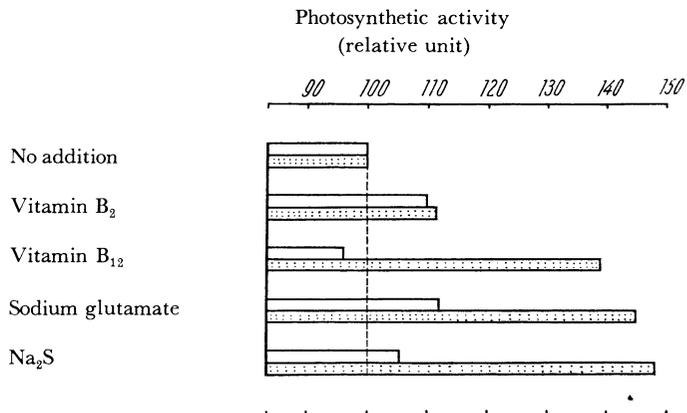


Fig. 27 Effect of adding vitamin B₂, B₁₂, sodium glutamate and Na₂S on the photosynthetic activity of *Porphyra*.

⋯⋯ *Porphyra* collected from Onagawa Bay in March, □ from Onagawa Bay in November.

無菌培養でなければ正確な結果は期待出来ないが、ここでは単に効果の有無を知る目的で実験が行なわれた。結果を Fig. 27 に示す。

図から明らかな様に、ビタミンB₂, B₁₂, グルタミン酸ナトリウム及び硫化ナトリウムの添加によってノリの光合成量は10~50%増加した。

6. 培養液

以上の実験結果に基づいて次の2種類の栄養塩添加海水が処方された。

	SWI	SWII
Filtered sea water	1000 ml	1000 ml
KNO ₃	72.2 mg (10mg/l as N)	72.2 mg (10mg/l as N)
KH ₂ PO ₄	8.8 mg (2mg/l as P)	4.4 mg (1mg/l as P)
Na ₂ -glycerophosphate		10.5 mg (1mg/l as P)
Fe-EDTA*	0.5 mg (as Fe)	0.5 mg (as Fe)
Tris**	500 mg	500 mg
pH	8.0-8.2	8.0-8.2

* Chelation from Fe₂(SO₄)₃(NH₄)₂SO₄·24H₂O

** Tris (hydroxymethyl) aminomethane.

上の栄養塩添加海水は高圧釜による殺菌の際 pH の変化により沈澱が生じ易いので、海水の緩衝能を高める目的で“TRIS” (tris (hydroxy methyl) amino methane) が加えられてある。この培養液はノリに対してばかりでなく、他の紅藻に対しても好適であった。尙、すでに報告されている⁶¹⁾ 7種の栄養塩添加海水及び25種の合成培養液について培養実験を行ない、合成培養液 ASP₁, ASP₁₂及び ASP₂ (Table. 15, 193頁) で良好な結果が得られている。

第3節 塩分濃度及び乾燥

1. 塩分濃度 (塩素量)

天然におけるアサクサノリの分布を見ると河口附近の殆んど淡水と思われる水域からかなり高塩分濃度の水域まで分布しており、更に干出時の乾燥の事を考えると相当広範囲の塩分濃度に適応出来るものと考えられる。一般にノリの養殖に適当な塩分濃度は比重で1.015~1.023⁶²⁾といわれている。本実験はノリの生長と海水の塩分濃度との関係を明らかにする目的で行なわれた。天然浜海水を蒸留水で種々の濃度に稀釈し、ノリ葉体を夫々の塩分濃度の海水で1日間培養後にその光合成能を測定した。実験には沿岸及び沖合の両水域に生育した2種のノリ葉体を使用し、異なった光度条件下 (0.4g cal/cm²/min. 及び 1.43 g cal/cm²/min.) において光合成活力が測定された。結果を Fig. 28 に示す。

実験の結果によると、ノリの生育した場所によって光合成活力に差違は見られるが、塩分濃度に対しては実験材料、光度の如何に拘らずほぼ同様の傾向が認められる。図からノリは相当広範囲の塩分濃度に適応出来る事は明らかで、蒸留水中でも1日間生存出来た事は注目し値すると思われる。この結果からノリの生育に好適な塩分濃度は Cl 12.00~18.00%と結論出来る様である。

尙、本実験においては炭酸が光合成の制限要因となっている事も考えられるので、この場合厳密には光合成能即生物活力を示すとはいわれないが、図 A において制限要素とならぬ CO₂ 濃度でも図 B にお

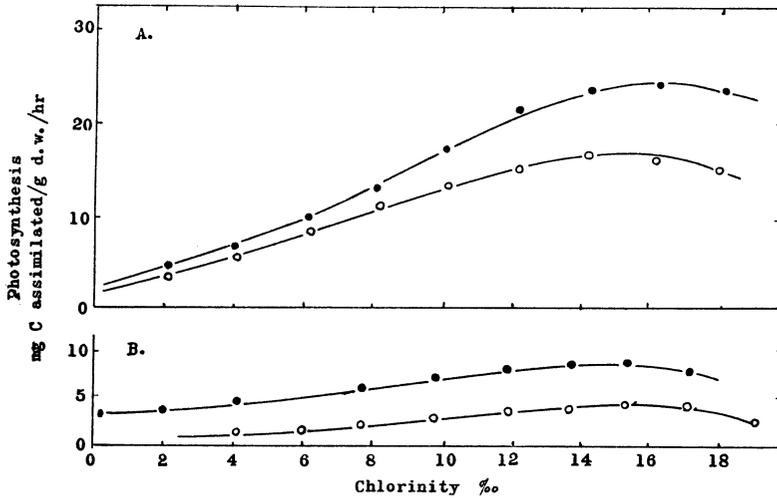


Fig. 28 Relation between photosynthesis of *Porphyra tenera* and chlorinity of surrounding water. A: photosynthesis under radiatn light 1.43 g cal/cm²/min. B: photosynthesis under 0.4g cal/cm²/min. The dots indicate the *Porphyra* collected from St. 13, and circles, from St. 17 (Fig. 1).

いてはすでに彎曲している事から、炭酸の影響及びノリ自体の活力の合成されたものと考えて良いであろう。更に天然における低塩分海水においても滲透圧のみならず当然炭酸の影響もある訳で、それを含めて塩分濃度と考える事が妥当であり、本実験結果を種々の塩分濃度におけるノリの生長の小断面と考えると差支えない様に思われる。

2. 乾燥 (干出)

ノリの養殖において、現在一般に使用されている固定^{ヒビ}筈は潮汐によりノリの葉体が毎日数時間空气中に露出されるのが常である。然し、一方ではノリが常時海水中に浸る浮筈が考案され使用されている。後者は養殖場の水深などに余り拘束されずに使用出来るので未開発漁場の利用の面では有効と思われる。然しながら、ノリの収量 (病害を含めて) 及び品質等の問題になるとノリの生理が不明のため種々の意見があり、未だ統一した結論は得られていない。本実験はこの問題に関連してノリの乾燥に対する抵抗力及び干出のノリの生物活力に及ぼす影響などについて知る目的で行なわれた。海水中から取上げたノリ葉体の一部は直接空气中 (日蔭, 5~16°C) で乾燥, 他は^{ヒビ}紙で水分を吸収した後に室内 (同条件) で乾燥した。乾燥1, 2, 4, 7及び10日後に夫々一部を海水に戻してその光合成活力を測定した。Fig. 29はその測定結果を示している。

この結果から、ほぼ9日間はその生理的活力を損ずる事なく生存可能である事がわかる。勿論これ等は室内における乾燥実験の結果であり、天然環境における太陽輻射, 気温, 湿度, 風速等の気象要因は実験の条件とは異なるので、そのまま天然状態で適用出来るとはいい得ないが、ノリ葉体の乾燥に対する抵抗力の一指針になるものと考えられる。

干出のノリの光合成活力に及ぼす影響についての実験結果は Fig. 30 に示される。実験に使用されたノリは1958年2月25日松島湾で採取されたもので、実験室内で3日間毎日所定の時間空气中 (10~16°C) で乾燥を行なった後それ等の光合成活力が測定された。実験結果は毎日2時間の干出によってノリの光合成活力は約20%高められたが、4時間以上になると却って常時海水中に浸るものより劣ってくる事を

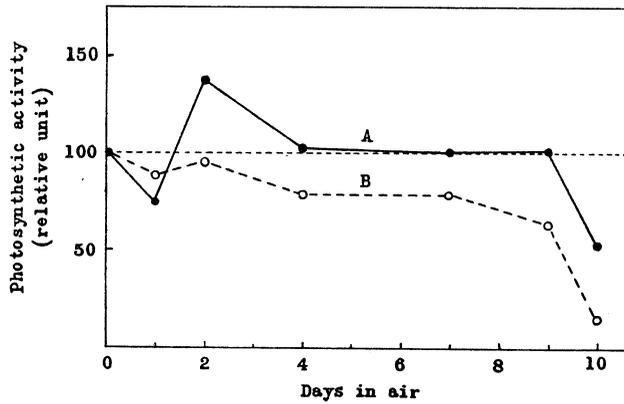


Fig. 29 The resistance of *Porphyra* fronds to drying in air (5–14°C in the shade). A was exposed to air directly, and B was exposed after drying the accompanying water with blotting paper.

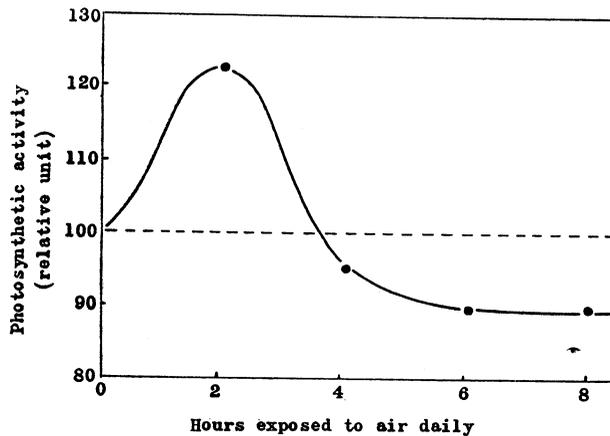


Fig. 30 Effect of exposing *Porphyra* fronds to air on the photosynthetic activity.

示している。

富士川¹⁷⁾は種々の条件を設定してノリの露出実験を行ない、毎日1回空气中への露出によりノリの生育は明らかに促進される事を述べ、生育促進に適当な乾燥程度は自ずから一定し夜と昼によって異なるが適度の範囲は夜間の方が広いと結論している。また金子⁶³⁾が朝鮮のノリ養殖場で調査した結果によると、ノリの漁期を通じてノリ浜の干出時間は大小潮の平均値で毎日2時間程度のものが収量最も多く、4時間以上になると収量は著しく劣るといわれる。この調査結果は実験の結果に良く一致している。本実験においては乾燥は室内で昼間行なわれたものであり夜間乾燥の実験は行なっていないが、天然での平均化された金子の調査結果を考え合せれば夜間でも著しい相違はない様に思われる。従って、毎日1回2時間程度の露出はノリの生長を促進し、生産を高めるのに役立つと結論出来よう。

第2部 栄養生理

第4章 アサクサノリの無機栄養要求

術語の定義

本章に入るに先立ち、本文中に使用する植物栄養に関する術語について定義しておきたい。

絶対(必要)要求量 栄養塩が環境水中に欠乏すると植物は生長、増殖及び光合成等の生理作用が行なえなくなり、他の物質をもって代用出来ないと思定される栄養塩の限界必要量をいう。

正常要求量 栄養塩類の欠乏していない環境水中で活潑に生長した植物の細胞中に含まれる各栄養塩の量を示す。

最小要求量 総ての栄養塩が豊富に存在する環境水中で、ある栄養塩だけが制限要因となっている時、植物細胞中に含まれる当該栄養塩の量を示す。

上記の三項は総て乾燥重量に対する百分比をもって示す事にする。

至適濃度又は濃度範囲 植物に最大の生長、増殖及び光合成量を与える栄養塩の濃度又は濃度範囲を示す。但し、この場合これ等の至適濃度が完全に一致するものか否かについては現在のところ確かではない。

第1節 窒素

1. ノリの窒素要求

すでに報告¹⁸⁾¹⁹⁾を行なった様に、ノリの窒素含有量はその生育環境によって大分異なっており、現在までに松島湾において10.05~1.33%、松川浦で6.49~1.87% (何れも乾燥重量に対して)の値を観測している。天然の養殖場では、1月~2月にノリの色調が黄変する現象が各地で認められている。松島湾及び松川浦における観測結果によると、ノリ葉体の黄変が見られる前後におけるノリの窒素含量は松島湾においては約5%、松川浦ではおおむね4%前後であった。但し、この黄変の判定は大部分肉眼的判定によるものである。

更に、黄変後のノリの葉体(同じ時期、同じ養殖場)についてそれ等の光合成活力を測定して見ると、窒素含量4.80~1.33%の間ではノリの光合成活力はおおむねその窒素含量に比例して減少している。これ等の観測結果から、ノリの最少窒素要求量及び正常要求量は夫々4~5%及び5.5~7.0%と考える事が出来る。稀に7%以上の高い窒素量を示すノリ葉体も見られるが、同じ養殖場で生育したノリについて見ると光合成活力においては有意な差は認められなかった。この過剰窒素の形態及び生理的機能については明らかではないが、多分貯蔵形態のものと考えられる。上述の様に松島(塩釜)湾産のノリと松川浦産のノリとでは黄変時における窒素含量に多少の差違が見られる。これ等は種が異なるともいわれているが⁶⁴⁾⁶⁵⁾、著者の観測結果によると松川浦の養殖場は貧栄養であるところからノリの適応に基づく結果であると考えたい。

正確なノリの絶対窒素要求量について知る事は難しいが、今までの観測結果から松島湾で窒素含量1.33%のノリを見出しており、その光合成活力を測定したところ、10°C、2000 Luxにおいて僅かに呼吸量を上廻る程度でほぼ平衡状態に近かった。従って、この結果からノリの代謝に必要な窒素の最低(絶対)量は1.20~1.30%附近と考えて差支えない様に思われる。

2. 窒素の吸収

海産植物プランクトンの培養実験では、窒素源としてアンモニヤ態のものと硝酸態のものが比較的容易に吸収されるといわれ、ZoBell⁶⁶⁾の海産珪藻 *Nitzschia closterium* の培養実験及び HARVEY⁶⁷⁾の海産植

物プランクトンの混合培養の実験では、アンモニア態のものがむしろ早く吸収されると報告されている。本実験はノリ葉体の各種窒素源の吸収利用について明らかにする目的で行なわれた。

方 法

基本培養液として、夏に女川湾で採水した海水 (Cl: 17.9%) を70~80°C に加熱、汙過して使用した。先ず磷酸源として第1 磷酸カリウムを燐 P として2 mg/l の濃度に加えた。窒素源としては硝酸カリウム、硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウム及び尿素を用意し、各々窒素 N として1 mg/l の濃度になる様に加えた。尚、ノリ葉体の個体差及び体の部位による差を排除する目的で葉体を2 cm² に切りとり、混合して任意に10片宛宛だして培養液に移し、北側の窓下で培養を行なった。吸収量を知るために24時間毎に下記の方法で各海水中の窒素と燐の量を測定し、その減量をもって吸収量とした。

窒素の定量法

アンモニア態窒素： アンモニア態窒素は第1章に述べた著者改良のネスラー試薬法によって定量された。

尿素： 尿素を含む海水は硫酸で酸性液とし、過酸化水素を触媒として、10~15分間加熱、冷却後上記のネスラー試薬法によって定量した。

硝酸態窒素： 海水中の硝酸態窒素の定量は HARVEY⁴⁵⁾ の還元ストリキニーネ法に RAKESTRAW が改良を加えた方法に従って行なった。

燐の定量： 還元剤として塩化錫を使用する DENIGES-ATKINS⁶⁷⁾ のモリブデン酸アンモニウム法を使用した。何れも分光光電比色計を用いて測定し、ブランク試験により更正を行なった。

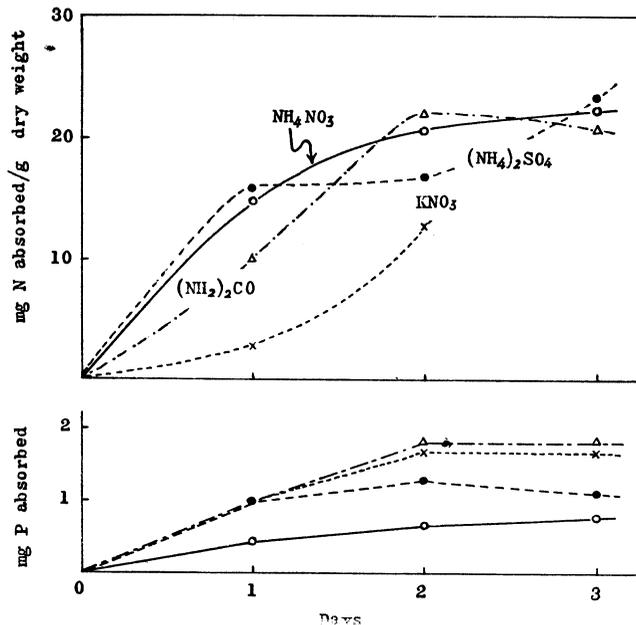


Fig. 31 The absorptioa of nutrient salts by *Porphyra tenera* fronds. Upper figure shows the utilization of various nitrogen sources. Lower, the uptake of phosphate-P in relation to nitrogen sources (signs are the same for both figures).

結果は Fig. 31 に示される様にアンモニア態窒素及び尿素が比較的早く吸収される事を示している。一

方、窒素の吸収量と燐の吸収との関係について見ると、その間には特別の関係は見受けられず、むしろ無関係の様に見える。ただ硫酸アンモニウムを窒素源とする培養では燐の吸収量は比較的少なかった。

3. 窒素源と至適濃度

前項に述べた結果はノリの窒素吸収量と速度に関するもので、生長に及ぼす影響については明らかでないので次の実験が行なわれた。

実験 I.

夏に女川湾で採水した海水(Cl: 17.90%)を加熱濾過したものに、Fe-EDTAを鉄Feとして0.5 mg/lの濃度に加えたものを基本培養液として用いた。400 mlの深皿シャーレに培養液を150mlみだし、硝酸カリウムを窒素源としてTable. 8に示される様な種々の濃度に与え、ノリの発芽体(10細胞以下)を5個体宛その附着している繊維と共に接種し、直射を避けた室内光(最大10,000Lux)、室温(5~16°C)の下で培養を行なった。尚、この実験では第1燐酸カリウムを燐Pとして窒素濃度の約1/7になる様に夫々加え、培養液は15日毎に交換された。実験の結果をTable. 8に示す。

Table 8 Relation between the nitrogen concentration in sea water and the growth of *Porphyra tenera*

Nitrogen concent. (mg/l)	Phosphorus concent. (μ g/l)	Growth mg d.w.	Nitrogen content (μ g)	Nitrogen %	Phosphorus content (μ g)	Phosphorus %	N/P
0.35	50	7.5	238	3.17	21	0.28	8.5
0.70	100	12.1	301	2.48	22	0.18	13.7
1.05	150	9.2	325	3.54	24	0.26	13.5
1.75	250	9.0	269	3.00	25	0.28	10.7
2.80	400	15.2	628	4.16	75	0.50	8.4
4.20	600	19.8	863	4.33	120	0.60	7.2
5.60	800	11.1	496	4.45	58	0.52	8.6
6.50	900	14.6	648	4.44	81	0.56	8.0
7.00	1,000	24.4	1,120	4.59	151	0.62	7.4
8.50	1,200	13.1	598	4.57	66	0.50	9.1
14.00	2,000	19.2	896	4.67	113	0.59	7.9

(Exp. Oct. 10-Dec. 15, 1959)

Five germlings were inoculated into each deep petri dish, cultured under the full sunlight through a window glass avoiding direct rays (5-16°C).

この実験では、海水中の窒素濃度とノリの生長量との間には特殊な関係は認められなかったが、一般に海水中の窒素量が3 mg/l以上になると生長が良く、7mg/lの濃度で最高の収量が得られた。又、窒素量が0.7 mg/l以下の濃度ではノリの窒素・燐含有量共に低く、窒素含量において3.2%、燐含量では0.3%夫々以下であった。

本実験は無菌培養ではないので厳密な相互関係を求めるには、無菌の状態の下で行なう事が必要と考えられる。

実験 II.

ノリの糸状体は一般に貝殻等の基質に穿入して生活するので、その生理、特に栄養生理については殆

んど知られていない。次に無菌培養の得られた *free-living* 糸状体の窒素要求に関する実験結果について述べる。 *Free-living* 糸状体の培養及び無菌化については後述する。基本培養液として *free-living* 糸状体の培養に最適の ASP₁₂ NTA を用い、窒素源を除いて処方した。窒素源として硝酸カリウム、塩化アンモニウム、尿素、ベタイン、タウリン、コリン等を夫々種々の濃度に与え培養を行なった。即ち、発芽間もない糸状体のコロニーで大きさのほぼ等しい直径0.5 mm 以下のものを選び、無菌のピペットを用い1個体宛接種を行なった。培養は10 ml の培養液を含む20×125mm のスクリュウキャップ付の試験管を用い17~19°C、白色蛍光灯3500 Lux の光度条件の恒温槽内で行なわれた。 *Free-living* 糸状体は培養

ASP ₁₂ NTA	
Distilled water	100 ml
NaCl	2.8 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.7 g
MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.4 g
KCl	70 mg
Ca (from CaCO ₃)	40 mg
NaNO ₃	10 mg
K ₃ PO ₄	1 mg
Na ₂ -glycerophosphate	1 mg
Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O	2 mg
Vitamin B ₁₂	0.02 μg
Biotin	0.1 μg
Thiamine	10 μg
P II metals*	1 ml
S 2 metals*	1 ml
“TRIS” buffer**	0.1 g
Nitriilotriacetic acid	10 mg
pH	7.8-8.0

*See Table 14.

**Tris (hydroxymethyl) aminomethane
(Sigma Company).

液の組成により、盛に胞子嚢を形成して個体数を増すもの、個体数は増加せずに伸長だけするもの等があり、従来の植物プランクトンの定量に良く使用されている色素抽出による定量又は化学的定量等によって一律に示す事はこの場合適切ではないと考えられた。此処ではその指標として肉眼的判定による総生長量及び色調を主とし、胞子の放出状況及び形態の特徴についてもあわせて観察を行なった。総生長量は植物の全体積を基礎とする生長指数で、色調は7段階に区分し、濃い順に RR Rr, R ,r, Pr, P, PP の記号で示し、更に帯黒褐色のものにはその色調に応じB, b 等の記号を添える事とした。窒素源の種類及び濃度とノリ糸状体の生長量との関係は Table. 9 に示される。

Table 9 Relation between nitrogen sources and the growth of *Conchocelis*-phase of *Porphyra tenera* in pure culture

Nitrogen sources	Nitrogen concentration in culture medium (N mg/l)						
	0.1	0.4	1.0	4.0	10.0	40.0	100
KNO ₃	45 P	50 Pr	60 Rr	80 RR	80 RR	90 RR	80 RR
NH ₄ Cl	60 P	60 P	80 r	80 RR	80 RR	80 RR	60 R
Urea		50RR	93 RR	80 RR	80 RR	100 Rr	bl.*
Betaine	200 PP		45 PP		50 PP		
Choline	35 PP		45 Pr		48 Pr		

* bl = bleaching

この結果から窒素源として硝酸カリウム、塩化アンモニウム、尿素等は何れも優れており大差ない事がわかる。ただ $N\ 1\ \text{mg/l}$ 以下の低濃度では尿素、塩化アンモニウム等が僅かに優れている様であり、高濃度では逆に害作用が見られる様である。尿素 (N) $0.1\ \text{g/l}$ の濃度では糸状体は完全に褪色して生長していない。興味深いのはベタインで $N\ 0.1\ \text{mg/l}$ の濃度で上記 3 種の窒素化合物での最大生長量の約 2 倍の収量が得られた事である。然し色調は淡く殆んど無色に近かった。この結果からベタインは窒素源としてよりもむしろ生長促進的な役割を果たすものと考えて良さそうである。何れにせよノリの糸状体がベタイン、コリン等の有機態のものを利用出来る事は注目すべき事と思われる。

4. 考 察

KETCHUM & REDFIELD⁶⁸) は培養実験によって緑藻類 *Chlorophyceae* の正常窒素要求量は乾燥重量 (灰分を除く) の 6.5~8.3% と述べており、MYERS⁶⁹) はクロレラ *Chlorella* の培養実験でほぼ同様の窒素組成を与えている。この値は先に示したアサクサノリの 5.5~7.0% に比べ若干高い値であるが、アサクサノリでは窒素含量 7% 以上のものが比較的少ない事及び前にも述べた様に直接代謝に関係のない貯蔵態のものと考えられる事等から、正常窒素要求量として 5.5~7.0% とするのが妥当と考えられる。

KETCHUM⁷⁰), KETCHUM & REDFIELD⁶⁸) によれば、植物プランクトンの窒素欠乏細胞は培養液中の窒素を完全に吸収させた後、光の下で培養する事によって得られるといわれる。これ等の結果から、天然における窒素含量 5% 以下のノリは明らかに窒素の欠乏した環境に生育もしくは存在した事を示すものと推論され、更にノリの窒素含量は環境海水中の窒素量の過不足を示す一つの指標になるといえる。

SPOEHR & MILNER⁷¹) は炭酸ガスを使用した特殊な培養実験で窒素含量 1.13% の *Chlorella* を得た事を報告している。ノリの絶対窒素要求量については現在のところ天然の観測資料より推定する以外に 1.20~1.30% としたが、特殊な条件下では *Chlorella* において見られる如く、更に少量の窒素量でも生育は可能であるかも知れない。

従来⁷²⁾⁷³⁾⁷⁴⁾⁷⁵⁾の報告によると藻類は窒素源としてアンモニウム塩及び硝酸塩の両方共利用出来、一般にアンモニヤ態窒素の吸収は早いといわれている。ノリについてもほぼ同様の傾向が認められた。

RYTHER⁷⁶) によれば *Nannochloris* や *Stichococcus* では硝酸態窒素よりもアンモニヤ態窒素の方が増殖が早く、*Nitzschia closterium* はアンモニヤ態窒素では増殖し得ないといわれる。従って、種により窒素の代謝様式が異なる様に考えられ、好適な窒素源は植物によって異なるものと考えて良い様である。アサクサノリの葉体では硝酸態のものが最適であり (Fig. 22), 糸状体の場合、硝酸態、アンモニヤ態窒素及び尿素について特に選択性は認められず何れも有効に利用出来る (Table 9) と結論出来る。ノリ糸状体の実験は無菌培養であり、酵素的反応も当然考慮に入れねばならないが、窒素源として有機物を使用した場合、無機態の窒素は検出されなかったので大部分は有機態のまま吸収利用されたものと考えられる。然し、これ等の有機態窒素の吸収同化過程については今後の研究にまたねばならない。

KETCHUM⁷⁰) は *Nitzschia closterium* の培養実験で窒素の吸収は磷の吸収と特別な関係はなく、ただ窒素の濃度によって異なると報告しているが、ノリの場合にも全く同様な事が確認された。

次に窒素濃度と生長との関係について見ると、KETCHUM⁷⁰) は *N. closterium* の実験において窒素の同化量は濃度が $0.2\ \text{mg/l}$ 以下になると減少するが、増殖率は硝酸態窒素 $0.05\sim 0.5\ \text{mg/l}$ の間では濃度に無関係であったと述べている。ノリの糸状体の実験について見ると、尿素、アンモニヤ態窒素では $1\ \text{mg/l}$ 、又硝酸態窒素では $4\ \text{mg/l}$ の濃度までは生長量は濃度にほぼ比例して増大するが、アンモニヤ態窒素では $100\ \text{mg/l}$ の濃度になると僅かに阻害作用が認められ、尿素では同じ濃度で糸状体は褪色し全生長しなかった。従って、生長阻害濃度は窒素源の種類によって異なる事は明らかである。窒素源として硝酸態のものを使用する場合にはかなりの高濃度まで害作用はないものと考えて良い様に思われる。実験結果からは少なく共 N として $100\ \text{mg/l}$ の濃度までは害作用のない事は明らかであるが、ZOBELL⁶⁶) の *N. closterium* の実験では至適濃度の上限界は $560\ \text{mg/l}$ といわれ、この値はノリの場合においても一応の指標

として差支えないものと考えられる。

糸状体に関する実験は試験管を使用した静置培養であり、糸状体のコロニーは硝子管壁に附着して運動しないので運動性を有する微小藻類の場合と異なり、吸収は専ら物理的な拡散に影響されるものと考えられる。従って、振盪等により培養液に運動を与えた場合にはこの様相は若干異なってくる事は当然考えられる事である。

第 2 節 磷

1. ノリの磷要求量

窒素と共に植物の栄養にとって重要な要素とされている磷の、ノリ細胞内における量はその生育する環境や時期によって著しく変動している。東北地方産のノリについて、その磷含有量を見ると、

	最 高	最 低
松 島 湾	0.81%	0.16%
松 川 浦	0.53%	0.08%

の範囲にあり、非常に巾が広い。従って、ノリ細胞内の磷含量からその正常及び最少要求量を推定する事は著しく困難である。然し、ノリの絶対磷必要量は前節 1, に記したと同じ根拠から乾燥重量の 0.07~0.08%と考えられる。

2. ノリの磷酸吸収

次にノリ葉体の磷酸吸収について述べる。

方 法

ノリによる磷酸の吸収量は前節における窒素の場合と同様に、海水中に残存する磷の量を測定する事によって間接的に求められた。従って、厳密には表面に吸着された分も含まれている訳で、それを含めて「収着」という術語を使用するのが妥当かと思われる。定量法は先に述べた DENIGES-ATKINS 法⁶⁷⁾によって行なった。

実験ならびに結果

1). 最初の実験は生育環境の異なるノリの磷酸吸収について行なわれた。その結果ノリの吸収能はその生育した環境によって著しい差違のある事が判明した²¹⁾。従来、磷酸の吸収能は細胞の磷酸欠乏状態によると一般に考えられているが、この実験の結果は比較的磷酸量の多い水域で育ったノリ葉体が高い吸収能を示しており、一般に生物活力の高いもので磷の吸収が活潑である事を示した。

2). 磷の濃度と吸収量

海水中の磷濃度と吸収量との関係についてはノリの生理状態によって異なる事が考えられたので、異なる材料を使用して多くの実験が行なわれた。その結果によると、ノリによる磷の吸収は一般に海水中の磷濃度の増加に伴って増加するが、磷濃度が 150~300 $\mu\text{g/l}$ を超えると増加率は徐々に低下してくる。更にノリは暗所においても無機態の磷を吸収する事が明らかとなった。その一例を Fig. 32 A, B に示す。図に示した曲線の彎曲の程度及び単位重量当りの吸収量はノリの生育環境及び採集後の処理によって多少の相違が見られている。

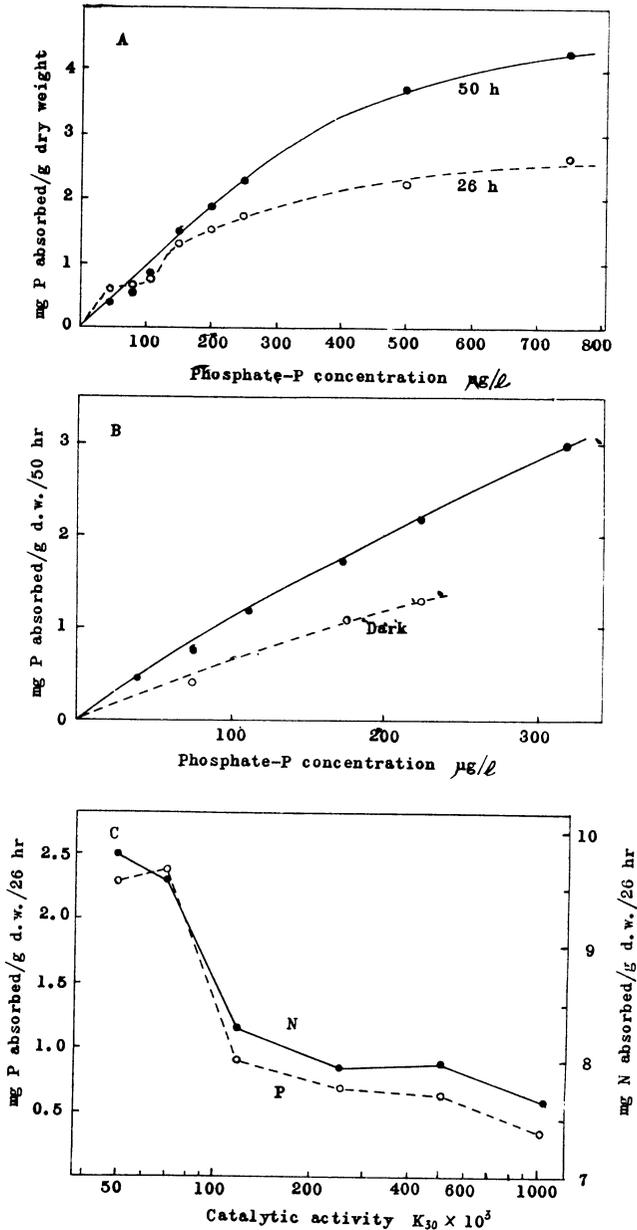


Fig. 32 The absorption of phosphorus by *Porphyra tenera* fronds. A. The relation between the rate of absorption of phosphorus and the concentration of phosphorus in the sea water. B. Effect of illumination on the uptake of phosphorus. C. Effect of catalytic activity of sea water on the uptake of nitrogen and phosphorus.

3). 海水の触媒活性度とノリの磷酸吸収

松平^[35]によれば、珪藻 *Skeletonema costatum* の増殖は同一栄養塩を含む海水中においても海水の触媒活性度により著しい相違があるといわれる。

この関係が多細胞紅藻のノリに適合するか否かを明らかにするため次の実験を行なった。即ち、硫酸銅を使用する事により人工的に海水の触媒活性度を変え、同一材料を使用して同じ磷濃度におけるノリ葉体の吸収量が測定された。実験の結果は Fig. 32 C に示される如く、海水の触媒活性度 ($K_{80} \times 10^3$) が80を越すとノリの窒素・磷吸収量は急激に減少した。この結果は松平⁽³⁵⁾が *Skeletonema* の培養実験で得た結果とほぼ一致している。

3. 磷の限界濃度

すでに述べた様にノリの磷含有量は海水中における磷濃度が $10 \mu\text{g}$ ($0.32 \mu\text{g} \cdot \text{atom}/l$) 以下の濃度では減少するが、 $20 \mu\text{g}$ ($0.65 \mu\text{g} \cdot \text{atom}/l$) 以上の濃度になると海水中の磷の濃度とノリの磷含量との間には特別な関係は見られなくなる。次の実験はノリの生長を制限する様な海水中の磷濃度について知る目的で行なわれた。

予備実験の結果、ノリの葉体は磷酸欠乏の海水中においても或期間正常な光合成を営む事がわかったので、実験には二つの異なった材料を使用した。即ち、(1)比較的栄養塩の豊富な沿岸水域 (St. 13, 第1図参照)、(2)栄養塩の少ない沖合水域 (St. 17) のものを蒐め、磷酸の欠乏した海水 (磷酸量痕跡) 中で2日間培養後実験に使用した。これ等の材料を更に磷酸濃度だけが異なる海水中で24時間培養後、夫々の光合成活力をワールブルグの検圧計を使用して測定した。材料(1)においては、海水中の磷濃度によってノリの光合成活力に影響は認められなかったが、磷酸欠乏状態にあると考えられる材料(2)を使用した実験では Fig. 33 に示される様な結果が得られた。

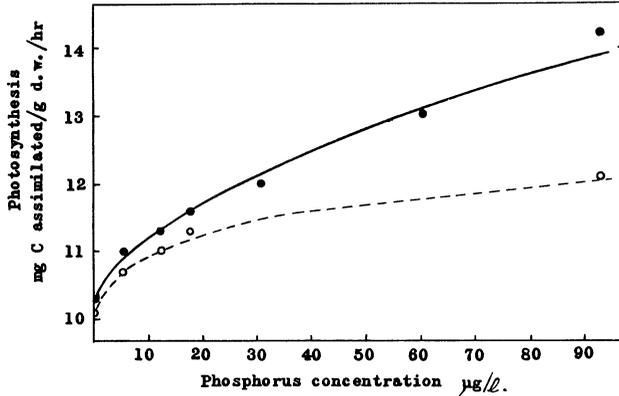


Fig. 33 Relation between photosynthesis of *Porphyra tenera* and phosphorus concentration in the surrounding sea water (sample 2).

Fig. 33 は磷酸欠乏状態にあるノリ葉体の光合成作用は海水中の磷濃度によって支配され、特に磷濃度が $12 \sim 18 \mu\text{g}/l$ 以下において著しい事を示している。従って、海水中の磷の量が $12 \sim 20 \mu\text{g}/l$ ($0.4 \sim 0.7 \mu\text{g} \cdot \text{atom}/l$) 以下の濃度ではノリの磷含有量に影響するばかりでなく、ノリの生育に対しても制限的に作用すると結論出来るであろう。

この実験においては磷の至適濃度の上限界について明らかにする事は出来なかった。

4. 磷酸源とその至適濃度

この実験は無菌培養の得られたアサクサノリの *free-living* 糸状体を用いて行なわれた。実験方法は前節 3, 実験 II と全く同様である。即ち、 $\text{ASP}_{12}\text{NTA}$ から磷だけを除いて処方した培養液に種々の磷酸

源を夫々の濃度に加えて培養実験を行なった。磷酸源の種類及び濃度とノリ糸状体の生長量との関係を **Table 10**に示す。

Table 10 Relation between phosphorus sources and the growth of *Conchocelis*- phase of *Porphyra tenera* in pure culture

	Phosphorus concentration in culture medium (P mg/l)						
	0.1	0.3	0.6	1.0	4.0	10.0	20.0
KH ₂ PO ₄	60 Rr	70 Rr	70 RB	70 Rr	80 Rr	100 Rr	90 Rr
Na ₂ -glycero-phosphate	65 RR	70 RR	80 RR	94 RR	100 RR		100 RR
Guanylic acid	60 Rr			60 Rr		60 Rr	
Adenylic acid	55 Rb			70 Rr		60 R	

上表から、ノリの磷酸源としてグリセロ磷酸ナトリウムが無機態の磷酸カリウムよりも優れている事がわかる。その他のグアニル酸及びアデニル酸では生長は少々劣っているが磷酸源として充分有効である事が判明した。培養液中の磷の濃度とノリ糸状体の生長との関係について見ると、グリセロ磷酸ナトリウムでは磷の濃度が高くなるにつれて僅かではあるが生長も良くなっており、その臨界濃度はPとして4 mg/lであった。その他の磷化合物では濃度と生長との関係はあまり明瞭ではないが、磷酸カリウムの場合 P 10 mg/l の濃度で最高の収量が得られた。

5. 考 察

磷はノリの発芽や初期の生育に重要な役割を果たす事は **Table 6** から明らかであるが、その詳細な生理機能や必要量については未だ明らかではない。すでに述べた様にノリの磷含有量は時期により、又生育環境によって大分変動があり、0.08~0.81%の範囲のものが観測されている。同様の事は植物プランクトンでも認められており、培養条件、殊に培養液中の磷濃度によって大きく変るといわれる。更に多くの単細胞藻では磷酸貯蔵作用のある事が LUNDE⁽⁷⁷⁾, GOLDBERG *et al*⁽⁷⁸⁾, RODHE⁽⁷⁹⁾ 及び松江⁽⁵⁶⁾ 等により指摘されており、又磷含量は細胞の生理状態によっても異なるといわれている。従って、過剰摂取、正常含量及び欠乏細胞等を区別する事は容易ではない。この関係を追求する事は本研究の主目的ではないので、この問題に関しては特別な実験は行なっていない。

ノリの磷酸吸収能や吸収速度及び量は生育した環境の物理化学的条件によって異なる事は実験の結果によって明らかである。KETCHUM⁽⁴⁹⁾ によると *Nitzsca closterium* の磷酸吸収は磷の濃度許りでなく培養液中の窒素濃度によっても異なるといわれる。ノリについては同じ実験は行なっていないが、硝酸塩が充分存在すると磷酸吸収の時間に伴う減衰が小さい⁽⁸⁰⁾ といわれ、ノリにおいてもほぼ同様の傾向があるものと考えて良い様である。窒素や磷の吸収は又、海水の触媒活性度によっても異なり、この事は栄養塩の量だけでなく海水の性質によっても栄養塩の吸収や生長が異なる事を示唆している。

一般に、珪藻は無機態の磷酸ばかりでなく、グリセロ磷酸ナトリウムや Inositol-hexaphosphate の様な有機磷化合物も利用出来る事が知られている⁽⁸¹⁾⁽⁸²⁾ がピロ磷酸は利用出来ないといわれる。ノリ糸状体の無菌培養実験の結果から更に有機態のアデニル酸やグアニル酸も利用出来る事が判明し、一般に有機態の磷酸には発芽初期の生育において無機態のものに比べて僅かに劣るが、培養の持続効果がある様に思われる。

第3節 炭 素

海水中には多量の炭素が炭酸塩として存在しているので浮遊性の海産植物の生産が炭素によって限定される事は殆んどないであろう。然しながら、アサクサノリの養殖は非常に集約的に行なわれるので炭酸はその生産に対して重要な意義を持っているものと考えられる。

本実験は炭酸分圧とノリの生長との関係について知る目的で行なわれた。

実験装置

炭酸分圧を人為的に精密に調整する事は容易ではなく、大規模の装置を必要とするが、ここでは簡単な方法を工夫し、予備実験の後実験に使用した。実験装置を Fig. 34 に示す。図においてA: 容量既知の酸素瓶, B: 8×50 mm の肉の薄い試験管で 6 N の塩酸 0.5ml を含む, C: 4×25mm の肉薄の一端を閉じた硝子管, D: 細い沷紙片, E: 培養液を夫々示す。

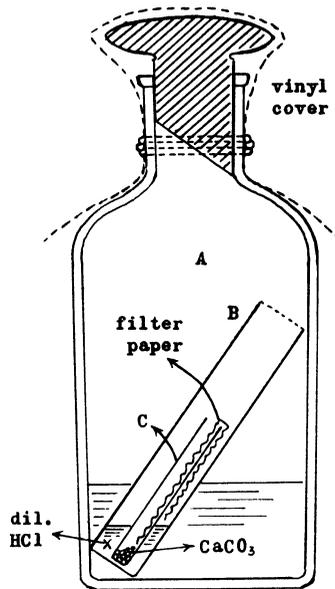
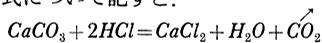


Fig. 34 Culture apparatus for carbon dioxide experiment.

後述の算式により、粉末の炭酸カルシウムを秤量して小硝子管Cに移し、この硝子管を塩酸を含む小試験管Bにそう入し、酸素瓶の中に入れてふたをする。酸素瓶のふたの磨合せ部分に真空ポンプ用のワセリンを塗って固く締めた後、更に透明ビニール片で覆い、その頸部を輪ゴムで閉じる。その後、酸素瓶を傾ける事によってC管の炭酸カルシウムとB試験管内の稀塩酸とを沷紙片を介して接触させる。この化学反応終了5時間後に、酸素瓶内の海水のpHをガラス電極を用いて迅速に測定した。化学反応式及び算式について記すと。



即ち、1モルの炭酸カルシウムから1モル容(22.4 l)の炭酸ガスが得られるから、酸素瓶の内容積をVml、酸素瓶内の各硝子管の全体積をv ml、所要の炭酸分圧をn%とすれば、n%の分圧を与えるに必要な炭酸カルシウム量m mgは $m = \frac{n(V-v)}{22.4}$ で求められる。

但し、塩酸は炭酸ガスを一部溶解するので若干の誤差は生ずるが、少量であるので海水及び塩酸が所定の濃度で平衡状態に達するとの仮定に基づいている。

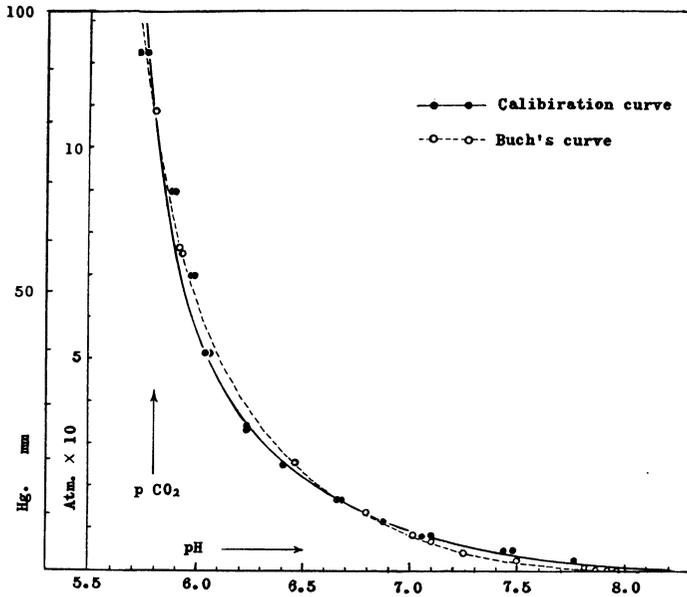


Fig. 35 Relation between the partial pressure of carbon dioxide and pH in sea water of Cl 18.85% at 20°C. Circles and broken line show Buch's data (Cl 19.10%).

炭酸分圧と pH との関係は Fig. 35 に示される。この結果は Buch *et al.* (83) (84) によって精密に測定された結果と大略一致しており、この実験にとって満足すべき結果を与える事を確認した。問題となるのはノリのガス代謝に伴う変動であるが、これはノリの生長に応じて5~7日毎に酸素瓶を交換し CO₂ を補給する事によって補った。

実験及び結果

約1mmのノリ幼芽を、予め所定の炭酸分圧になる様に計算秤量された炭酸カルシウムを内蔵する酸素瓶中の培養液に接種し、光度条件を均一にして8~12°Cの温度で培養を行なった。この実験では培養液としてミッケル海水を使用した。培養40日後の生長量を Table 11 に示す。

Table 11 Relation between the partial pressures of CO₂ and the growth of *Porphyra tenera*

Percent of volume or pressure		0.03	0.5	1.0	1.5	2.0
Partial pressure Torr		0.23	3.80	7.60	11.40	15.20
pH		8.30	7.46	7.00	6.73	6.55
Growth squares in mm ²	Initial	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2
	After 40 days	20	156	36	9	2

表から、CO₂分圧 0.5%の時生長が一番良く、1.5%の炭酸分圧の下では生長が阻害される事がわかる。然し、その阻害効果は炭酸分圧そのものによるか、それとも pH の低下に基づくものかこの実験結果からは明らかにし得ない。

2 考 察

以上、アサクサノリの炭酸ガス要求について簡単な実験を試みたが、その全ぼうを知るのに充分とは到底いい得ない。然しながら、実験の結果はノリの生長に対して炭酸ガス量は窒素・燐と同程度、或はそれ以上に重要である事を示唆している。本実験においては炭酸ガス分圧の間隔が比較的広いので至適炭酸ガス分圧について厳密に規定する事は難しいが、おおむね 0.5% 前後にあるものと考えて差支えない様に思われる。その後の須藤等⁹⁵⁾の実験によると至適分圧は 0.2% といわれる。

海水中に存在する炭酸ガス、重炭酸イオン及び炭酸基の量は水温、pH、過剰塩基及び水と平衡状態にある空気中の炭酸ガス含量の函数とされている。HARVEY⁸⁶⁾は海水中における全炭酸と遊離炭酸(CO₂)の計算から、その量的平衡関係について論議を行なっている。即ち、遊離炭酸(CO₂)は pH 4で100%であるが、アルカリ性になるに従い次第に減少して pH 9では零となる。又、炭酸基の濃度は pH 7.5 附近で零であり、pH の上昇と共に増加して pH 12では100%になり、重炭酸イオンは中間の pH 値で最大になると述べている。この様な複雑な平衡関係にあるので各種炭酸イオンの利用について論ずる場合、pH の直接的影響を切離して論ずる事は出来ない。OSTERLIND⁸⁷⁾⁸⁸⁾は *Chlorella pyrenoidosa* は重炭酸イオンを利用出来ないが *Senedesmus quadricauda* は利用出来ると述べ、又、STEEMANN-NIELSEN も重炭酸イオンは他の水生植物にとって利用されると報じている。然し、炭酸基は光合成の炭素源としては直接に役立つ事とは明らかで、OSTERLIND⁸⁷⁾⁸⁸⁾は過剰の炭酸基は増殖を阻害するかも知れないと述べている。木下等²⁷⁾はスサビノリ *Porphyra yezoensis* を使用した実験において、光合成の炭素源としては遊離の CO₂ 及び HCO₃⁻ が有効であり、CO₃²⁻ は無効であるとしている。

アサクサノリが重炭酸イオンを利用する事が出来るか否かについては不明であるが、ノリ養殖場の海水の pH は重炭酸イオンが最大の濃度を示す 8.0~8.3 の範囲にあり、養殖はかなり集約的に行なわれているので、炭酸が欠乏する事は明らかで、一部重炭酸イオンの形で摂取利用する事は充分考えられる事である。

ノリ干出の生理的意義については現在のところ全然不明であるが、恐らく炭酸ガス摂取とも密接な関係があるものと考えられる。ノリの炭酸源については有機態のものとおわせ更に詳細な研究が必要と考えられるので、無菌培養実験によって検討を行なう予定である。

第 4 節 窒素・燐・酸素の関係

すでに報告を行なった如く¹⁸⁾¹⁹⁾、アサクサノリ細胞内の N/P 比は、非常に変動があり現在までの観測結果では 5.6~36.8 の間にあり、松島湾のノリでは平均 11.0 の値を示している。松川浦においては浦入口附近の海水の流通の良い場所で生育したノリの燐含有量は比較の変動量が少なく窒素の含有量とは無関係にほぼ一定していたが、浦奥部の海水の流通の少ない場所のノリではその燐含有量は窒素含量の増加と共に増加する傾向が認められた。今燐含有量を y 軸に窒素含有量を x 軸にとると、上記の関係は夫々、 $y = 0.236 - 0.0035x$, $\sigma_y = 0.033$,
及び $y = 0.169 + 0.04x$, $r = 0.735$ で示される。

一方、窒素と燐の吸収に関する実験 (Fig. 30 参照) においては燐の吸収量は窒素の吸収量の増加と共に僅かに増加する傾向が観察されたが、窒素・燐の吸収の間には一定の比率は認められなかった。更に燐の吸収は窒素源の種類に余り関係のない事も明らかである。

次に述べる実験はノリの光合成と栄養塩類の吸収との関係を明らかにする目的で行なわれた。本実験

においては、ノリの葉体を栄養塩を添加した海水中で培養し、光合成によって生成される酸素量と窒素・磷の吸収量とについて測定を行なった。測定は Table 12 に示される間隔で行なわれた。実験の結果を Table 12 に示す。

Table 12 The relation between photosynthesis and absorption of nitrogen and phosphorus of *Porphyra* fronds (10cm²)

Hours	O ₂ produced (μl)	P absorbed (μg)	N absorbed (μg)	O ₂ : P	O ₂ : N	N : P
2	25	1.3	117	19.2	0.22	90
4	51	0.9	154	56.7	0.33	170
6	74	2.5	187	27.6	0.40	75
8	97	3.2	213	30.3	0.46	67
9.5	117	4.0	210	29.2	0.56	53
12	158	4.6	220	34.4	0.72	48
16	210	4.8	228	43.8	0.92	48
22	273		257		1.06	

この結果から見るとノリの窒素・磷の吸収は光合成と直接的な関係はない様で、実験結果から O₂ : N : P の特別な関係 (比率) を導き出す事は出来ない様である。

次に、アオサ *Ulva pertusa* 及びアオノリ *Enteromorpha Linza* を使用し、海水中の窒素・磷濃度及びその比率と緑藻の生長ならびに窒素・磷含有量との関係について行なった実験の結果について述べる。これについてはすでに報告⁹¹⁾してあるので結果だけを要約して述べる事にする。海水中の N/P が7以外の時は、生長の良いものの窒素含量は6%を示し N/P 比が大きくなる程生長は悪くなる。海水中の N/P を7とすると、窒素含有率の差は少なくなり窒素含量から生長の良否を判定する事は困難である。細胞内の N/P は海水中の N/P と正の相関があり、海水中に窒素が多く磷が少ない時著しく高い値を示す。細胞内の N/P 比が7以下の時は海水中に磷が高濃度に存在する事を示し、磷酸貯蔵作用のある事が推定出来る。又、磷含量が0.1%以下の時は生長も良くない事が推定出来る。以上はアサクサノリとは族の異なる緑藻の実験例であるが、アサクサノリに対しても一応の指針になると考える。

すでに述べた様に、松島湾及び松川浦の調査結果からノリの正常な磷代謝に必要な磷の量は乾燥重量の約0.2%と推定している。それ故、ノリ細胞中の N/P 比の変動は主に細胞の磷酸摂取量に原因するものと考えられる。要するに、アサクサノリの磷含量は環境条件やノリの生理状態及び活力等によって著しく異なり、海水中の栄養塩ばかりでなく他の複雑な化学的因子によっても異なると結論出来る。従って、ノリ細胞内の N/P 比から生育した環境と栄養条件を判定する事は不可能ではないとしても非常に困難であるといえる。

第5章 アサクサノリの微量要素要求

天然海水中に或種の植物生長促進物質の存在する事は現象的にかかなり古くから認められており、第3章に述べた実験において二、三の金属キレート物質及び或種のビタミン等がノリの生育に対して生長促

進的に作用する事が判明している。海水中の微量要素、特に有機物のノリの生育に及ぼす影響について明らかにする事はその代謝生理を理解する上において、又、海洋の生産力とも関連して重要な問題と思われる。この実験には厳密な無菌培養を必要とするので、アサクサノリの無菌化についての多くの実験が行なわれた。以下にその方法と結果とについて略述する。

第1節 アサクサノリの無菌培養

1. 海藻の無菌培養に関する従来の見解

一般に、紅藻類の葉体は細菌や他の微生物の繁殖に好適な凹凸のある厚い粘液質の層で覆われているので、その無菌化は非常に困難とされている。海藻の無菌培養に初めて成功したのは VISCHER (1935)⁹²⁾ で、彼は *Porphyridium* の孢子放出の特性を利用して寒天の斜面培養で無菌の孢子を摘出する事によって無菌培養を得る事が出来た。FISH (1950)⁹³⁾ は *Enteromorpha intestinalis* の游走子を集めペニシリンで処理する新しい方法を試みた。同様なペニシリン処理によって FOGG & BOALSCH (1958)⁹⁴⁾ は *Ectocarpus confervoidis* の無菌培養を得ている。SPENCER (1953)⁹⁵⁾ は FISH が用いた様な高濃度のペニシリンは不必要であるとし、ペニシリンとストレプトマイシンを組合せた低濃度液 (各々 500 UNIT/ml) で長時間処理する事をすすめている。抗生物質処理の方法は更に進んでペニシリンと他の抗生物質とを組合せて使用されるようになった (PROVASORI 1951⁹⁶⁾, 1958⁹⁷⁾)。FRIES (1960)⁹⁸⁾ は SPENCER 処方 of 抗生物質を使用して *Gontotrichum elegans* の無菌化に成功したが、他の4種の紅藻では不成功に終わったと報告している。以上の様に、海藻類の無菌化についての一般的な方法は未だ確立されていない。

2. ノリの無菌化に関する実験

この実験において直面した困難な問題は、1) ノリの葉体は多数の酵母、球菌及び桿状菌等の微生物が繁殖している粘液質で覆われており、2) これ等の微生物中の或種は抗生物質に対して強い抵抗力を持っており、然も多量の有機物を含む細菌用培地でも増殖は極めて遅い事等であった。このため実験には、11種類の抗生物質 (ペニシリン、ストレプトマイシン、ノボジオシン、ポリミキシン、ネオマイシン、クロラムフェニコール、リモサイゼン、ナイスタチン、マグナマイシン、エリスロマイシン及びガントリシン)、5種類の抗代謝物質 (Isonicotinic hydroxide, Pyridine-3-sulphonic acid, Pantoyl-tourine, Methyl-panthenol 及び Di-derthiobiotin)、表面活性剤 (Tween 80) 及び殺菌剤 (Merthiolate, 次亜塩素酸ナトリウム) 等を種々の濃度で夫々単独に又は組合せて使用したが、何れもノリの葉体を損傷しない濃度範囲内で附着微生物を完全に殺す事は出来なかった。

更に物理的処理法として毛細管の水流を利用して孢子を洗滌する方法、紫外線照射、寒天による洗滌法 (後述) 等が試みられた。この方法でも大部分失敗に終わったが、抗生物質を含む寒天で洗滌したものの中、1個体だけが無菌の状態で生長した。以下に成功した実験と成功の可能性のある処理法について簡単に記し無菌化の方法について若干考察して見る。

a) 海洋細菌、特に海産酵母の培地について

アサクサノリの無菌化の試みにおいて従来細菌培地では増殖の極めて遅い特殊の微生物の存在する事が確認された。従って無菌培養を得るため、又、汚染確認のためにはこれ等の特殊な微生物群の増殖に好適な培地を準備する必要に迫ら

STP		
Sea water	80	ml
Distilled water	15	ml
Soil ext.	5	ml
NaNO ₃	20	mg %
K ₂ HPO	1	mg %
Na-H-gultamate	50	mg %
DI-alanine	10	mg %
Glycine	10	mg %
Trypticase	20	mg %
Yeast autolysate	20	mg %
Vitamin 8A*	0.1	ml
Sucrose	100	mg %
(Agar	0.8	%)
pH	7.5-7.6	

*See Table 15, B (p. 193)

れた。実験に使用された細菌検査用の培地は STP 液とその寒天培地で処方は前頁に示される。この処方から糖類に問題がある様に思われたので、最初に各種の糖を使用して微生物の増殖試験を行ないグルコースの添加が有効である事を知った（濃度0.2%）。

次に培養液と細菌用培地との混合比について検討を行なった。結果を次表に示す。表中の微生物の項

	A	B	C	D	E	F
ASP12NTA	8 ml	6 ml	4.5 ml	2 ml	1 ml	0 ml
STP	1	3	4.5	7	8	9
2% Glucose	1	1	1	1	1	1
Bacteria in <i>Nemalion</i> culture	++	> ++	++/+++	++/+++	++/+++	++/+++
Bacteria in <i>Porphyra</i> culture	+ / ++	+ / ++	+ / ++	+ / ++	+ / ++	< ++

は1週間後における増殖量を示している。この結果から、STP とグルコースとが共存するならばその濃度には余り関係のない事がわかった。以上の実験結果に基づいて STP 液の処方にグルコースを0.2%の割合で添加した改良細菌用液体培地 STI を処方し、以後の細菌及び酵母の確認実験には次の3種の培地を使用する事とした。

- 培養液10 ml + STP 1 ml + 4% Glucose 2-3 滴
- STI
- STIss. (寒天培地)

以上3種の細菌検査用培地で充分この目的を達する事が出来た。

b) 抗生物質と紫外線処理

前に述べた抗生物質処理のノリ糸状体の中、ペニシリン3,000単位+ストレプトマイシン1,500 µg/l 処理のものでは生存した細菌が比較的少なかったので、処理後新しく形成された枝の部分を切り取り1~5分間紫外線で処理された。この処理によっても完全に無菌にする事は出来なかったが、一部のものは細菌による汚染度が非常に少なくなったので糸状体活力の回復を待ち、約1ヶ月後に約2分間再び紫外線処理が行なわれた。これ等一連の処理によって糸状体の大部分の細胞は褪色していった。然し、約1ヶ月後には生存した一部の細胞から新しく側枝を形成し生長し始めた。この培養は6ヶ月の間、改良された細菌用培地 STI で細菌は検出されなかったので完全に無菌と思われたが、7ヶ月後に STI の液体培地の方が僅かに白濁し、依然としてイーストにより汚染されている事が判明した。然し、STI の寒天培地では酵母のコロニーは見出されなかった。

c) 寒天による洗滌

この方法の原理は寒天の性質を利用して葉体表面の粘液質を基質として繁殖している微生物を寒天になすりつけて取除く事である。

方 法 1) ノリ葉体の培養に最適な培養液 SWI, ASP₁₂ NTA に1~1.4% の濃度に寒天を加えた寒天培地を用意する、2) 使用に際しては温湯煎内で溶かして42~45°C まで室温で冷却、シャーレに移し密封して冷却する。3) 解剖顕微鏡の下で、ノリの幼芽(1 mm 以下)を寒天上にのせ、硝子毛細管で先端に小さな鉤を作りこれを用いて寒天内に埋没、曳きずり廻した後、寒天表面にのせて、更に別の無菌毛細管で葉体表面の水分を吸いとる。以上の操作を10~15回繰返す。この方法に従って、発芽間もないノリの幼芽10個体が処理された。10個体中3個体は完全に無菌になったが、ノリの幼芽は褪色してしまい生長しなかった。然し、他の紅藻、ヨツガサネグサ *Antithamnion glandiferum* 及びアサクサノ

りと同属のウシケノリ *Bangia fusco-purpurea* ではこの方法で無菌培養が得られた (成功率は夫々 1/10, 1/12).

d) 抗生物質添加寒天の使用

以上の実験結果から抗生物質を含む寒天を使用する事が更に効果的である様に考えられた。先ず寒天を溶かし室温で冷却して 40~42°C に達した時にシャーレの中で抗生物質混合液を混合し、静かに充分振盪して均一になる様にした。本実験に使用された寒天は栄養塩添加海水 SWII (193 頁参照) に寒天を 1.2% の濃度に加えたもので、従来の経験を基にして寒天 20 ml に対してペニシリン 40,000 単位及びストレプトマイシン 20mg を夫々添加して使用した。この方法によって洗滌を行なったところ、実験に使用した 10 個体の幼芽の中 1 個体が無菌になった。この葉体は 2~3 ヶ月の間生長を停止しており、生死の判定がつかねたが、その後生長を始め、振れた異常な厚い葉体となった。然し、この葉体は電灯光 1 日 9 時間照明 (温度 14~15°C) の下で 3 ヶ月後に単胞子を放出し、放出されたこれ等の単胞子は同じ条件の下で発芽して正常な葉体となった。

抗生物質の組合せ及び濃度は異なるが、この抗生物質を含む寒天による洗滌法で、アオサ *Ulva taeniata* (緑藻)、褐藻クロガシラ属の一種 *Sphacelaria* sp. 及び紅藻ヨツガサネグサ属の一種 *Antithamnion* sp. 等の無菌培養にも成功した。

3. 考 察

以上アサクサノリの無菌化に関する実験について略述したが確実な一般的方法を見出す事は出来なかった。単細胞藻及び双鞭毛類 (Dinoflagellates) における多くの成功例から海藻類の無菌培養を得るのに胞子が最も良い材料として考えられるかも知れない、然し紅藻類では総ての型の胞子は游泳力がないばかりでなく非常に小さく、然も附着力を有している。これ等の胞子は胞子嚢を離れると同時に汚染され、更に外部からの傷害に対しては非常に鋭敏である様に考えられる。

すでに述べた様に抗生物質の使用によって二、三の海藻の無菌培養が得られているが、本実験では尽く不成功に終わっている。FRIES⁹⁸⁾も 5 種の紅藻を使用して無菌化に成功したのは、*Goniotrichum elegans* だけであったと述べている。この場合の成否は主に使用される海藻の細菌による汚染度にかかっている様に考えられる。

抗代謝物質、表面活性剤及び殺菌剤等による処理では無菌培養は一つも得られなかったが、これも使用される材料 (汚染度) によっては成功の可能性はあるかも知れない。

藍藻 (Blue-green algae) に使用して成功したといわれる (BORTELS⁹⁹⁾)紫外線処理については、FRIES⁹⁸⁾によると僅かに 30 秒の照射で紅藻類の胞子を殺し、むしろ細菌等の汚染生物の方が抵抗性を有していたといわれる。アサクサノリの場合でも葉体は 1 分間の照射で生存したものはなかった。然し、糸状体では 2 分間の照射で活力は大分減退した様であるが 1 ヶ月後には生長を始めた。2 回の紫外線処理によって生存した微生物は酵母の抵抗形態のものと考えられるので、照射の間隔を適度にするならば比較的簡単に無菌培養は得られるかも知れない。この方法は紫外線に対して抵抗性を有する特定の種に限られる事はいうまでもない。

著者の試みた実験では、寒天による洗滌、特に抗生物質と混合して使用する事により比較的良い結果を得る事が出来たが、更に使用する抗生物質について選択、工夫改良されるならばより容易にしかも成功率を高め得るのではないかと考えられる。

以上要約すると、海藻類の無菌化は現在の段階では決して容易な仕事ではないが、以上述べた抗生物質を混合した寒天による洗滌が比較的確実な良い方法であると結論される。これ等の操作において最も重要な事は使用する材料を吟味する事で、顕微鏡で詳細に観察し汚染の少ない材料を選択すべきである。この操作は仮令多少煩わしくとも結果的には少ない努力で目的を達し得る捷徑である様に思われる。

第2節 微量要素の要求

1. 実験の方法

以下に述べる一連の微量要素要求に関する実験には無菌の *free-living* 糸状体が使用された。

培養液としてはノリ糸状体の生育に最適な ASP₁₂NTA (193頁参照) を用い、実験の目的に応じ培養液の処方から各要素を除いたものを基本培養液として使用した。即ち、微量金属の実験においては培養液 ASP₁₂NTA から金属要素(P II, S II metals) を除いたものを処方して基本培養液とする如くである。これらの培養液は 2 × 12.5cm のスクリュウキャップ付培養試験管に 10ml 宛みたされ、高圧釜で 20 ポンド、20分間加熱殺菌後に使用された。尚、この培養液に使用された薬品は全部保証付のものであり、蒸留水は硬質ガラス製の蒸留器による再蒸留水を更にイオン交換樹脂で処理した後に使用された。

接種に際しては発芽菌もない糸状体のコロニーで大ききのほぼ等しい直径 0.5mm 以下のものを選び、無菌のピペットを用い紫外線照明の無菌箱内で 1 個体宛接種を行なった。同時に各実験毎に細菌 (汚染) 検査も併せ行なった。微量要素要求に関する実験においては生物自身担ってくる量も無視出来ないため、各要素を含まない培養液で 10~14 日間培養を行ない、充分欠乏状態に達してから接種を行なった。

予備実験の結果に基づき培養は糸状体の生育に好適な条件、即ち 17~19°C、白色蛍光灯 2000~3000Lux の光度条件の恒温槽内で行なわれた。

2. 微量金属要求

アサクサノリの *free-living* 糸状体は人工培養液 ASP₁₂NTA で十分に生長し、好適な物理条件の下では多数の単胞子嚢を形成し、単胞子を放出するので (後述)、糸状体の正常な代謝に必要な微量金属は ASP₁₂NTA 中に含まれる P II, S II metal mixtures の構成要素で充分の様に見える。従って実験は P II, S II metals を構成する各金属元素について行なわれた。以下にその実験結果について述べる。

a) 鉄 ノリの糸状体は鉄の添加によって生長が促進され、50 μg/l の濃度で無添加のもの約 2 倍量の生長を示した。又、50 μg/l 以上の濃度では、後述する様な糸状体に発芽する多数の胞子の形成、放出が見られた。従って、鉄はこの様な糸状体の無性的繁殖を促進する作用のある事がわかる。

b) 硼素 硼素は 1 mg/l の濃度迄は生長促進的に作用するが、それ以上の濃度では阻害的に作用する様で 4 mg/l の濃度では糸状体は褪色して全然生長しなかった。

c) マンガン マンガンも鉄と同様に生長促進作用が見られ、400 μg/l の濃度では対照の約 2 倍量の収量が得られた。

d) 亜鉛 亜鉛も 30 μg/l 以下の濃度では生長促進作用が著しく、30 μg/l の濃度で無添加のもの約 5 倍量の生長が見られたが、80 μg/l では明らかに害作用が認められ、100 μg/l の濃度では接種後間もなく褪色して死滅した。

e) コバルト コバルトの生長促進作用はあまり明瞭ではなく、5 μg/l の濃度で僅かに無添加のものを上廻る生長を示した。この結果はノリ糸状体のビタミン B₁₂ 要求 (後述) と対照して興味ある事実である。

f) 臭素 臭素は 20 mg/l の濃度までは害作用はないが、その影響も明瞭ではなく、5 mg/l の濃度で対照の 1.5 倍量の生長が得られただけである。

g) ストロシウム スロンチウムは 1 mg/l の濃度で対照の約 2 倍の生長量を与え、5 mg/l の濃度まで害作用は認められなかった。

h) モリブデン モリブデンも僅かではあるが生長促進作用があり、100 μg/l の濃度で 2 倍の収量が得られた。

i) ルビヂウム ルビヂウムは糸状体の生育に不可欠の様で、無添加のものでは殆んど生長しな

かった。50 $\mu\text{g}/\text{l}$ の濃度で約 13 倍の収量が得られた。

j) リチウム 糸状体はリチウムも必要とする様で、無添加のものでは殆んど生長は認められない。100 $\mu\text{g}/\text{l}$ まではリチウムの量と共に生長は増大するが、それ以上の濃度では生長阻害作用が現われる。

k) ヨウ素 ヨウ素のノリ糸状体の生長促進作用は著しく、10 $\mu\text{g}/\text{l}$ の濃度で対照の約 9 倍の生長を与えた。然し、効果的な濃度は 20 $\mu\text{g}/\text{l}$ 以下の低濃度であり、それ以上になると却って生長は阻害される。

3. ビタミン要求

この実験も前項と同じ理由で、最適培養液 ASP₁₂NTA 中に含まれるビタミン群について行なわれた。実験の結果について述べると、ビタミン B₁₂ 無添加のものでは他のビタミンが存在しても褪色して全然生長しなかった。従って、ビタミン B₁₂ はノリ糸状体の生育に不可欠の要素である事は明らかである。B₁₂ は極く微量 (0.05 $\mu\text{g}/\text{l}$) でも有効に作用し、糸状体は活潑に生長した。最も効果的な濃度は 0.3~10 $\mu\text{g}/\text{l}$ であった (Table 13)。

他のビタミン、ビオチン、チアミン、パラアミノ安息香酸、ニコチン酸、イノシトール、パントテン酸カルシウム、コリン、リボフラビン、葉酸、ピリドキシン、ピリドキサミン、オロチン酸等では、その添加によって特に生長が促進されるという事はなかった。

Table 13 Response to vitamin B₁₂ of *Porphyra tenera*, free-living *Chococelis* (mg dry weight after 4 months growth)

	$\mu\text{g}/\text{l}$	Growth (mg)
Control		1.2
Vit. B ₁₂	0.05	3.8
"	0.1	5.7
"	0.3	10.2
"	1.0	12.5
"	3.0	10.7
"	10.0	9.8
"	30.0	5.6

4. 植物ホルモン

実験にはインドール酢酸、ジベレリン酸、アデニン及びカイネチンの 4 種の植物ホルモンが使用され、夫々の濃度と組合せにおいて糸状体の生長に及ぼす影響が試験された。実験の結果は Table 14 に示される。

カイネチンは低濃度で糸状体の生長を促進し、200 $\mu\text{g}/\text{l}$ の濃度で対照の 1.6 倍の収量を与え、特に糸状体枝の伸長が著しかった。

インドール酢酸も 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ 以下の低濃度で高収量 (約 3 倍) を与えるが、有効な濃度範囲は比較的狭い。

ジベレリン酸は糸状体の生長に対し最も効果的に作用し、400 $\mu\text{g}/\text{l}$ の濃度で対照の 5 倍に当る最高の収量を与えた。

アデニンは 2 mg/l 以下の濃度では効果は殆んど現われないが、5 mg/l の濃度で生長は著しく (約 3

倍) 促進された。然し30mg/l では糸状体の生長は完全に阻害され、全然生長せず死滅した。

Table 14 Effect of plant hormones upon the *Conchocelis* growth of *P. tenera*
(mg dry weight after 135 days growth)

	w./l	Growth* (mg)
Control (ASP ₁₂ NTA only)		5.0
Kinetin	100 µg	7.3
"	200 "	8.1
"	500 "	3.1
Indoleacetic acid	20 µg	15.0
"	50 "	11.1
"	100 "	5.1
"	200 "	2.5
Gibberellic acid	20 µg	15.0
"	100 "	18.0
"	400 "	24.0
"	1,000 "	18.0
Adenine	1 mg	5.9
"	2 "	6.1
"	5 "	13.8
"	10 "	9.4, bl.**
"	30 "	bleached

* Total of two cultures (flasks).

**One grew and another bleached.

一般に糸状体は植物ホルモンの添加によって枝の長い糸状体に生長したが、単孢子嚢や単孢子の形成等については影響は殆んど認められなかった。

5. 考 察

以上述べた実験によってアサクサノリ糸状体に対する微量元素、鉄、硼素、マンガン、亜鉛、ルビヂウム、ヨウ素、リチウム、ストロンチウム、モリブデン等の生理的重要性が明らかにされたが、臭素及びコバルトの要求については未だ明らかではない。実験に使用された蒸溜水は前にも述べた様に、硬質ガラス製の蒸溜器による再蒸溜水を更にイオン交換樹脂で処理してから使用されたが、電気伝導度より推定すると尙数 µg/l 程度の金属を含んでおり、更に使用された薬品は全部保証付のものであるが、この実験目的のためには充分とはいわれない。従って、二、三の微量元素の要求については確認する事が出来なかった。一般に重金属類は海水の様な弱アルカリ性の溶液に難溶であるが、Na₂-EDTA, Na₃-Versenol, ヒスチジン、ニトリロ三酢酸及びクエン酸ナトリウムの様なキレート物質の使用によって、この問題は解決され有効な結果を得る事が出来た。

ノリ糸状体の生育に不可欠の要素であるビタミン B₁₂ の起源は主に海底泥と考えられており、海底泥から分離された細菌の中50%が B₁₂ を生産したといわれる (HALL *et al*¹⁰⁰). 又 ERICSON & LEWIS¹⁰¹) によると、バルチック海の汽水域で採集した海草に附着した細菌中、約70%が B₁₂ 生産菌であり、その主なものは *Pseudomonas* (11/24), *Achromobacter* (10/24), *Bacillus* (2/24), *Erwinia* (1/24) であったと報告さ

れている。海洋におけるビタミン B₁₂ の分布については未だ正確に知られていないが、ノリ糸状体の生育可能な水域は当然 B₁₂ の分布によって規制される訳で、一般に底質が砂泥の比較的浅い沿岸水域がその生育に適している事も自ずと明らかである様に思われる。

オーキシンやジベレリン等の植物ホルモンは微生物の生産物であり (BRIAN¹⁰²)、ホルモンの様に作用するプリン体その他の如き未知のものも又、天然水中で微生物の作用により生成されて重要な役割を果しているかも知れない。一般に良好なノリの養殖場は河川水が流入して適度に混合する内湾等に多く見られ、窒素・燐等の栄養塩の豊富な事が主な条件とされている。この様な水域は又一般に陸地から搬入される有機栄養物が多く、多くの微生物が繁殖してビタミン B₁₂ や各種の植物ホルモン等が生産されていると考えられ、これ等の要素がノリの生育を限定する程欠乏する事はない様に考えられる。然し、天然におけるこれ等の生長因子の量的な変動は、海水中の窒素・燐の量と同様又はそれ以上にノリの生長速度及び収量を支配するかも知れない。これ等の諸問題を解明するには大規模な純粋培養による研究と共に、海水中の諸ビタミン及び植物ホルモン等に関する精度の高い便利な定量分析法を確立する事が必要と思われる。

以上、栄養生理の不明なアサクサノリ糸状体の微量要素要求に関する実験結果について述べたが、この結果がそのまま葉状体に適用されるか否かは不明である。葉状体の微量要素要求については現在研究中である。

第3部 生活環の管理

第6章 培養におけるアサクサノリの生活環とその人工管理

昭和34年(1959)3月より2年間、著者はニューヨーク市の HASKINS 研究所において Luigi PROVASOLI 博士の下で紅藻類の無菌培養を試みる機会を得た。同研究所においては PROVASOLI 博士の御好意により、その優れた培養設備を使用してアサクサノリの研究を一部継続する機会を与えられ、以下に論述する様な研究結果を得る事が出来た。この研究は同研究所の優秀な各種の培養液に負うところが極めて大きい様に思われる。ここに PROVASOLI 博士の終始変らぬ優遇と有益な御助言に対し深甚な謝意を表す。この研究は PROVASOLI 博士の Office of Naval Research, National Science Foundation からの研究費でなされた事を附記しあわせて謝意を表す。又本研究に要した特殊の設備について種々の便宜を計られた HASKINS 研究所に感謝する。

第1節 従来の研究

緒言において述べた様に、DREW¹⁰⁾¹⁰³、黒木¹³⁾及び曾等¹⁴⁾¹⁵⁾によってアマノリ類の越夏形態が明らかにされて以来、特に我国ではその糸状体に関する研究が活潑に行なわれる様になり、すでに多数の研究報告が見られる。即ち、黒木¹⁰⁴⁾は引続き糸状体の単胞子放出について観察を行ない、山崎¹⁰⁵⁾¹⁰⁶⁾は糸状体からの胞子の大きさ、着生力及び放出の日週性等について報告を行なった。竹内等¹⁰⁷⁾及び須藤等¹⁰⁸⁾は糸状体の単胞子放出について調べ、温度の低下は放出を促がすらしい事、海水比重の低下によって放出は減少する事、又夜間に放出は見られず主に朝7~10時に放出される事等を述べている。その後、黒木¹⁰⁹⁾¹¹⁰⁾は単胞子放出の日週性について詳細に観察し、朝の7~9時に総放出量の40~60%、7~13時の間に全体の90%以上が放出されると報じた、更に貝殻内の糸状体の生長、単胞子嚢形成、単胞子放出と水温の関係とについても実験を行なって、糸状体の生長及び成熟に対する適温は14~24°Cで、胞子の放出は18~21°Cで最も多い事を報告している¹¹¹⁾。黒木は又単胞子嚢形成、胞子の放出と日長作

用について調べ¹¹²⁾、単胞子嚢形成に短日の日長作用が認められる事を述べ、更に胞子の放出についても論議を行なっている。一方、貝殻内の糸状体の生長と環境要因との関係については、尾形¹¹³⁾が詳しい研究を行なっている。又野沢¹¹⁴⁾は貝殻を用いないで糸状体の培養を試み、その形態等を観察した。

糸状体の生理については上記の尾形¹¹³⁾の研究のほかに、黒木¹¹⁾は乾燥・塩分・光線等の糸状体に及ぼす影響について、竹内等¹¹⁶⁾は糸状体の致死条件について、又、斉藤¹¹⁷⁾は糸状体に及ぼす二、三の要因について、夫々報告を行なっている。

以上、アサクサノリ糸状体の生理・生態に関する従来の研究について略述したが、特に本研究に関係のある事項について要約すると、

1. 果胞子は発芽管を出して生長し糸状体となる。稀に直接葉状体に発芽する胞子（夏ノリの起源となる）が混在する。
2. 糸状体は主に生物起源の石灰質（貝殻）に穿孔して生長し、夏に単胞子嚢を形成する。又糸状体は無機の石灰質及びコンクリートにも穿孔して生長する事も出来る。
3. これ等の糸状体の成熟及び単胞子の放出には温度と光が関係するらしく、単胞子の放出は一般に朝に多く見られる。
4. 糸状体の生長及び単胞子嚢形成に対する適温は 15~25°C である。
5. 糸状体はガラス上でも生長するが、単胞子嚢は貧弱で単胞子の放出は見られない事等である。

第2節 Free-living 糸状体の培養

1. 予備実験

実験には貝殻を使用した糸状体と、養殖場で採取した葉状体が使用された。アサクサノリの糸状体は松島湾駒島で種付し塩釜地先で養殖されたものを母藻とし、1952年2月4日に果胞子付して得たものである（黒木氏の好意による）。2月22日まで河過海水中で室温で培養され、その後貝殻は海水を含む脱脂綿で包まれ3月4日まで魔法瓶内に貯蔵された。3月4日以降、栄養塩を添加した Woods Hole 海水（処方前記 SWI に同じ）150 ml を含む 300 ml 容の深皿シャーレ内に移し、13~15°C の連続照明（100~300 Lux）の条件下で培養し、毎月1回海水を交換した。6月22日に糸状体の生育する自然環境を考慮に入れて 18~20°C、1日10時間照明の恒温槽に移した。以上の条件で単胞子嚢が形成されるまで果胞子付から約130日を要した。生長した糸状体の色調は黒紫~淡黒色で一部に貝殻表面から海水中に伸長し分枝しているのが観察された。

9月15日糸状体の生長しているカキ貝殻を細かに碎き、附着珪藻を除き無菌培養を得る目的で次の処理を行なった。即ち、河過海水を含むシャーレ内で軟かい水彩用筆を用いて貝殻の表面を注意深く洗滌し、1.5%の寒天内で8~10回洗ってから各種の培養液を含む培養試験管に移し変えた。一部は95%のアルコールを含む脱脂綿で軟かく拭いた。何れも無菌培養は得られず、アルコール処理のものは間もなく黄緑色に変わり死滅した。以上の中3個体を温度条件を変えて培養し、他はインドール酢酸、カイネチン及びジベレリン酸等の植物ホルモンを加え、20°C、1日8時間照明（約300 Lux）の下で培養を続けた。合成培養液 ASP₁₂ NTA の2本の試験管及び SWI+5 μg% IAA* では11月10日前後に単胞子の放出が見られ、正常に発芽生長してノリの葉体となった。これと前後して SWI の2本の試験管では糸状体が貝殻から海水中に伸長してきた。又暫らく遅れて（1960、2月~4月）試験管壁や貝殻等に附着した free *Conchocelis* のコロニーが ASP₁₂ NTA 及び SWI+IAA の培養に出現した。

以下の実験には、これ等の5系列の培養に由来する若い葉体及び free *Conchocelis* が使用された。これ等の培養は他の海藻を含まない unialgal culture であるが、細菌や酵母等によって汚染されていた。この微生物による汚染は一般的なものであるが、培養液中には有機基質はなく、然も終始無菌的に取扱っ

* インドール酢酸

たのでその汚染はかなり少なかったものと考えられる。

2. *Free-living* 糸状体の起源

Free-living の糸状体は次の三方法、即ち、1) 栄養塩添加海水 SWI 中で貝殻から海水中に伸長してきた裸出の糸状体から、2) ノリ養殖場で採集（松川浦、1960年3月）したノリの成熟葉体から放出された果胞子から直接に、又、3) 試験管内の合成培養液中で生長した葉体に形成された果胞子を培養液中で発芽させる事等によって得られた。

最初に貝殻等の基質は糸状体の生育に何等かの役割を果しているに相違ないと考えられたので栄養塩添加海水 SWI 中で貝殻から海水中に伸長してきた裸出糸状体の一部を切り取り、試験管中の寒天培地に海水を若干加えた二相培地の境界面（寒天の表面）に接種を行なった。この培地は貝殻中の条件と同じくする様に、寒天（合成培養液 ASP₁ 10ml+寒天 1.5%）に炭酸カルシウムを 1.0% の濃度に、又コンドロイチンを 0.01% の濃度に単独又は、カルシウムと一緒に加えられた固体相と、合成培養液 ASP₇ 或は栄養塩添加海水 SWI から成立っている。これ等の組合せの総てにおいて、ノリの糸状体は 13~15°C、弱光の連続照明、及び 18~20°C、1日 10時間照明の両条件下において健全に良く生長した。接種の際長さが 1mm 前後であったものが 2~3ヶ月内に直径 5~10mm の球状のコロニーとなり、その後、新しい糸状体のコロニーが数個体培地の境界面及び試験管壁で発芽生長してきた。液相内及び種々の組合せの寒天培地の総てにおいてノリの糸状体が十分に生長したという事実はノリ糸状体の生育には炭酸カルシウムや蛋白質を含んだ固体基質を必ずしも必要としない事を示している。次にこの固体基質なしに生長する糸状体（以下 *Free-living* 糸状体と呼ぶ）に最適の培養条件を決定すべく、各種の培養液を用いて一連の培養実験が行なわれた。

この条件の一部が知られてから、天然又は試験管内で生長した葉体から得られた果胞子を直接培養液内で発芽させる事が可能となった。1960年3月松川浦で採集されたアサクサノリの葉体は海水を含む脱脂綿で包まれ魔法瓶で空輸されてきた。採集時より到着時まで約 10日前後を要したが、ノリの葉体の大部分は健全であった。これ等の葉体は栄養塩添加海水 SWI に移されると間もなく多数の果胞子を放出した。これ等の果胞子は毛細管ピペットで無菌海水内で洗滌され、3~5個体宛 3種の栄養塩添加海水 (ASW₈, SWI, SWII) 及び 9種の合成培養液 (ASM, ASP₁, ASP₃, ASP₂NTA, ASP₆, ASP₇, ASP₁₂NTA, ASP₁₃, 及び D, 第 15表) を夫々 10ml 宛含む培養試験管に接種された。これ等の果胞子は ASP₂ を除いた大部分の培養液中で発芽生長して糸状体となった。糸状体の生長は ASP₁₂NTA, ASP₁₃, ASP₁, ASP₆ 及び ASW₈ で非常に良く、次いで ASP₇, D 及び SWII でも良く生長したが、SWI では貧弱であった。

電灯光による 1日 13時間照明 (4,000~5,000Lux), 14~16°C の温度条件下で培養されたノリの幼芽（葉体、長さ 5mm）は正常に発芽せず糸状体に発芽する果胞子を作り出した（詳細は後述）。

3. *Free-living* 糸状体の生長に好適な培養液と培養条件

前項においてノリの糸状体は基質なしに数種の培養液及び栄養塩添加海水中でも充分生長する事を述べた。培養液として優れている順に述べると ASP₁₂NTA, ASP₂NTA, ASP₁₃, ASP₆ 及び ASP₇, 栄養塩添加海水では ASW₈, SWII 及び SWI となっている。糸状体の色調は培養液によって異なり、ASP₁₂NTA, ASP₁₃ 及び ASP₆ 等では赤橙色、ASP₂NTA で淡褐色、SWII では暗褐色を示した。その色は一般にコロニーの中心部に特に濃くなっているが、これは恐らくその部分に色調の濃い単胞子嚢枝が存在するためと思われる。糸状体の生長速度及び単胞子嚢形成も又培養液の種類によって異なっている。即ち、次の ASP₁₂NTA, SWII, ASP₇ の順に生長は速く、ASP₂, ASP₁₃ 等では遅かった、単胞子嚢の形成と単胞子の放出は ASP₁₂NTA で最も速く ASP₁₃, ASP₇, SWII, SWI の順に見られた。糸状体の生長に対する適温は 10~26°C であり、至適温度は 16~22°C であった。1mm 前後の糸状体枝の一部は新しい培養液に移されると活潑に生長して新しい糸状体のコロニーとなった。この方法で糸状体の培養を繰返す事が出

Table 15. Enriched sea water (A) and artificial media (B) used for the experiments

A					
<i>Enriched sea water media</i>					
	SWI		SWII		
Filtered sea waetr	1000 ml.		1000 ml.		
KNO ₃	72.2 mg. (= 10mg. N)		72.2 mg. (= 10mg. N)		
KH ₂ PO ₄	8.8 mg. (= 2mg. P)		4.5mg (= 1 mg. P)		
Na ₂ -glycerophosphate. 5H ₂ O			10.5mg. (= 1 mg. P)		
Fe-EDTA (1:1 chelation)	0.5 mg. (as Fe)		0.5 mg. (as Fe)		
“Tris” b uffer*	500 mg.		500 mg.		
pH	8.0-8.2		8.0-8.2		
* Tris (hydroxymethyl) amino methane (Sigma Company).					
B					
<i>Artificial media composition (w./v.)</i>					
	ASP ₁	ASP ₂ (NTA)	ASP ₆	ASP ₇	ASP ₁₃ (NTA)*
Distilled water	100 ml.	100 ml.	100 ml.	100 ml.	100 ml.
NaCl	2.4 g.	1.8 g.	2.4 g.	2.5 g.	2.8 g.
MgSO ₄ •7H ₂ O	0.6 g.	0.5 g.	0.8 g.	0.9 g.	0.7 g.
MgCl ₂ •6H ₂ O	0.45g.				0.4 g.
KCl	0.06g.	0.06 g.	0.07 g.	0.07 g.	0.07 g.
Ca (as Cl ⁻)	40 mg.	10 mg.	15 mg.	30 mg.	40 mg.
NaNO ₃	10 mg.	5 mg.	30 mg.	5 mg.	10 mg.
K ₂ HPO ₄	2 mg.	0.5 mg.			
K ₃ PO ₄					1.0 mg.
Na ₂ -glycerophosphate			10 mg.	2 mg.	1.0 mg.
Na ₂ SiO ₃ •9H ₂ O	2.5 mg.	15 mg.	7 mg.	7 mg.	15 mg.
Na ₂ CO ₃		3 mg.			
Fe (as Cl)		0.05 mg.			
B ₁₂	0.02 μg.	0.02 μg.	0.05 μg.	0.1 μg.	0.02 μg.
Biotin					0.1 μg.
Thiamine					10 μg.
Vitamin mix 8**	0.05 ml.		0.1 ml.		
Vitamin mix S3***		1 ml.		1 ml.	
PII Metals****	1.0 ml.	3 ml.		3 ml.	1 ml.
SII Metals†					1 ml.
P8 Metals††			1 ml.		
Tris buffer	0.1 g.	0.1 g.	0.1 g.	0.1 g.	0.1 g.
Nitrilotriacetic acid		(10 mg.)		7 mg.	(10mg.)
pH	7.6	7.8	7.4-7.6	7.8-8.0	7.8-8.0

* Developed by L. PROVASOLI for tropical species of dinoflagellates.

** One ml. of Vitamin mix 8 contains: thiamine HCl, 0.2 mg.; nicotinic acid, 0.1 mg.; putrescine 2HCl, 0.04 mg.; Ca pantothenate, 0.1 mg.; riboflavin, 5 μg.; pyridoxine 2HCl, 0.04 mg.; pyridoxamine 2HCl, 0.02 mg.; *p*-aminobenzoic acid, 0.01mg.; biotin, 0.5μg.; choline H citrate, 0.5 mg.; inositol, 1.0mg.; thymine, 0.8mg.; orotic acid, 0.26 mg.; B₁₂, 0.05 μg.; folic acid, 2.5 μg.; folinic acid, 0.2 μg.

*** One ml. of Vitamin mix S3 contains: thiamine HCl, 0.05 mg.; nicotinic acid, 0.01 mg.; Ca pantothenate, 0.01 mg.; *p*-aminobenzoic acid, 1 μg.; biotin, 0.1 μg.; inositol, 0.5 mg.; folic acid, 0.2 μg.; thymine 0.3 mg.

**** One ml. of PII metal contains: ethylenediamine tetracetic acid, 1 mg.; Fe (as Cl), 0.01 mg.; B(as H₃BO₃), 0.2mg.; Mn (as Cl) 0.04 mg.; Zn (as Cl), 0.005 mg.; Co (as Cl), 0.001 mg.

† One ml. of SII metals contains: Br (as Na), 1.0mg.; Sr (as Cl), 0.2 mg.; Rb (as Cl), 0.02 mg.; Li (as Cl), 0.02 mg.; I (as K), 0.001 mg.; Mo (as Na), 0.05mg.

†† One ml. of P8 metal contains: Na₃ versenol, 3 mg., Fe (as Cl), 0.2 mg.; Mn (as Cl), 0.1 mg.; Zn (as Cl), 0.05 mg., Co (as Cl) 0.001mg.; Cu (as Cl), 0.002 mg.; Mo (as Na), 0.05mg.; B(as H₃BO₄), 0.2 mg. Versenol = hydroxyethyl-ethylenediamine triacetic acid.

来、1960年2月から現在(1962, 2月)まで培養を維持している。全く同様にノリの糸状体相は培養液中で浮遊するコロニーとして無限に生長させる事が出来よう。

試験管培養では糸状体のコロニーは一般に試験管壁に附着して底部で生長し、外見毛羽で覆われた毬状を呈する(直径4~10mm, **Plate 1, A**)。大型容器で遊遊させて培養すると糸状体は放射状に生長し屢々直径10~15mmにも達する(**Plate 1, B**)。糸状体は又試験管内の寒天斜面培地でも生長するが生長速度は遅い。

この実験の当初において *free-living* 糸状体のコロニーは天然の条件にならって弱光(200~400 Lux)の下で培養されたが、後で光度の影響に関する実験から糸状体の生長は3500 Lux までは明るい程速い事がわかった。白熱光と蛍光では色調は異なる(蛍光の下で赤味を帯び白熱光の下では黒褐色を呈する)が生長に対しては同様に効果的であり、ノリの生長は連続照明の下で速かった。この条件(3500 Lux, 蛍光連続照明)の下で、糸状体を次第に大きな容器に移し変えて培養する事により(10 ml を100 ml に接種, 100 ml を1 l という様にして), 3 l のエルレンマイヤーフラスコと5 l の白色広口瓶中で *free-living* の糸状体を大量に培養する事が出来た(**Plate 1, C**)。

4. 単孢子嚢及び単孢子形成に及ぼす光週期の影響

黒木¹¹²⁾の実験は貝殻中で生長した糸状体の単孢子嚢形成及び単孢子の放出は光週期によって影響を受ける事を示した。以下の実験は *free-living* 糸状体に及ぼす光週期の影響を試験する目的で行なわれた。蛍光1500~2500 Lux, 毎日8~11時間照明の光週期の下では、糸状体の小片は新培養液に接種後2~3週間単孢子嚢を形成し、3~8週間内に発芽した幼芽が見られた(**Plate 1, D, E, F**)。この光週期の下で(1500~2500 Lux) 13~15°C 及び18~20°C で夫々生長した糸状体には本質的な差違は認められなかった。然し光度が300~500 Lux になると幼芽(葉状発芽体)の出現は8時間の光週期でも遅れ(96~184日後), 11時間の光週期では180~240日以内に葉状体は見られなかった。

光度1500~2000 Lux, 600~100 Lux 及び100~200 Lux, 温度は各々13~15°C 及び20~26°C, 蛍光灯による連続照明の条件の下では、夫々180日, 240日の実験期間内に胞子も幼芽も見られなかった。ただ600~2500 Lux での培養では約1ヶ月後に単孢子嚢に類似した真紅の膨大組織が多数見られた。当時これ等の組織は小さな単孢子嚢と考えられたが、間もなくこれ等の組織は単孢子を放出しない事が判明したので次の様な実験が行なわれた。即ち、13~15°C で2ヶ月間連続照明の条件下で培養した糸状体のコロニーを新しい培養液に移し、1日8時間照明の条件下で培養を行なったところ、約5週間後に長さ5~8 mm の多数の幼芽が糸状体のコロニーと共に生長していた。

以上の実験から、単孢子嚢の形成及び単孢子の放出は短日条件によって誘因され、連続光によって妨げられる事は明らかである。

大量培養において連続光2500~3500 Lux の下で形成される胞子嚢は短日条件の下で形成される単孢子嚢とは形態的にも異なっている様に思われた。連続照明の下で形成される胞子嚢の細胞は厚い隔壁を有し、細胞の長さは一般に直径の半分となっており、或細胞は矩形を示している(**Plate 1, G**)。これ等は **DREW**¹⁰⁸⁾ が *Porphyra umbilicalis* var. *Laciniata* において述べている“Plantlets”に非常に類似している。これに対して短日条件下で形成される単孢子嚢の細胞は多くの場合長い細胞からなり、側枝のために一般に振れている(**Plate 1, D, E, F**)。

前に述べた糸状体のコロニーを長日条件から短日条件に移した実験は或可能性を示す様であるが結論は出来ない。短日条件に移してから38日後に5~8 mm に生長した若い葉体が発見されたが、不幸にも観察はその前に行なわれていない。糸状体の小片(2~3 mm の糸状体分枝)から出発した培養実験(**Table 16, exp. II**)においては同じ光と温度条件の下で、接種後22日と31日の間に幼芽が見られている。従って、短日条件に移されてから後に、新しく真の単孢子嚢が形成されたかも知れないという疑いが残るためである。

Table 16. Effects of short-day and continuous light conditions on *Conchocelis* phase*

Temperature	Light** period	Light intensity**	Appearance of sporangia †	Appearance of foliaceous thalli †	Remarks
13-15°C	8 hr.	1500-2500 Lux	I 19 days M.	< 46 days	good growth of thalli (1-1.5 cm.) 3 cm. thalli in 96 days
			II <22 days M.	>22-< 31 days	
		300- 500 Lux	I 27 days M.	None up to 84 days	discontinued at 84 days small thalli
			II <48 days M.	>96-<184 days	
18-20°C	11 hr.	1500-2500 Lux	I 19 days M.	>56-<84 days	good growth of <i>Conchocelis</i> -thalli soon bleached
			II 23 days M.	31 days	
		300-500 Lux	I 19 days S2	None up to 240 days	large <i>Conchocelis</i> colonies
			II 23-31 days S2	None up to 184 days	
13-15°C	Continuous	1500-2500 Lux	I 35 days S1-S2	None up to 240 days	††
			II 31 days S1-S2	None up to 184 days	
		300- 500 Lux	I 84 days S2	None up to 240 days	
			II 72-96 days S2	None up to 184 days	
20-26°C	Continuous	600-1000 Lux	I 35 days S2	None up to 240 days	(Plate 2, A, B, C, D)
			II 31 days S2	None up to 184 days	
		100- 200 Lux	I 56 days S2	None up to 240 days	
			II S2	None up to 184 days	

* Media: ASP7 and SWII. Results of two separate experiments (I and II).

M=monosporangia; S1, see Plate 1, G; S2, see Plate 2, A, B, C, D.

** Fluorescent: "cool white".

† Days from date of inoculation. Inoculum=a small piece of *Conchocelis* filament.

†† At 50 days a *Conchocelis* colony was transferred to new medium and to 8 hours of light. In a month monospores and thalli appeared.

糸状体は又弱光の連続照明と1日11時間照明の両条件下において珍しい組織 (Plate 2, A, B, C, D. Table 16 の S 2) を形成した。機能は未だ不明であるがこれ等の膨大組織は菌類の組織に非常に良く似ている。

以上の様に異なった光及び温度条件によって創造される糸状体組織の多様性はアサクサノリが環境の変化に対して異常な適応能力を有する事を示すものである。

第3節 葉状体の培養

アサクサノリの葉状体は秋から春にかけて繁茂し、3月下旬～4月上旬に果胞子を作って消失し、夏には一般に生育していない。これは生活史と呼ばれ、生物固有の特性 (又は週期) と一般に考えられている。

この問題に関して、著者は生物特有の週期というよりはむしろ生物の環境条件の変動に伴う適応形態ではなかろうかとの疑問を持っていた。単細胞藻においては多くの種が環境の変化に適応して種々の形態をとる事が出来るといわれており、*Haematococcus*⁽¹¹⁸⁾⁽¹¹⁹⁾ で見られる様に特殊の抵抗形態を作る種も知られている。従って、アサクサノリにおいても同様の可能性が存在すると考えられたからである。もしこの仮定が正しいとすれば、アサクサノリの葉体の生育に好適な条件を与える事によって季節に無関係に培養出来る筈である。

天然におけるアサクサノリの生態について興味深いのは、その出現、消失共に昼夜時間の等しい春秋の彼岸を前後として見られる事である (Fig. 36)。この事実はノリが短日性植物である事を示唆している様に考えられ、又、前章に記述した実験結果 (Fig. 21) はこの事実を裏付けている様に考えられる。この想定の下に上記の疑問を解明すべく、以下に述べる様な実験を行なった。

実験 I.

第3章に述べた各実験によってアサクサノリの培養が容易に行なわれる様になったので、最初にノリの季節性、即ち春から夏にかけて生長が可能か否かについて吟味を行なった。培養液として SWI, SWII, ASP₁₂, ASP₁, 及び ASP₂ (Table 15 参照) を準備し、これ等の培養液を2×12.5cmのスクリューキャップ付培養試験管に各々10ml 宛みだし、高圧釜で20ポンド、20分間加熱殺菌後に実験に供した。Free-living 糸状体からの単胞子をパスツールピペットで1ml の凹型スライドに集め、解剖顕微鏡の下で毛細管ピペットを使用して5～6個を吸引接種して、13～15°C, 3500 Lux (電灯光)、1日9時間照明の条件下で培養を行なった。接種は1月10日、4月10日、6月10日及び8月1日に行ない、前後4回の培養実験を試みた。

Table 17. Thallus growth (two-month)

Media	Growth	Color
ASP ₁	10×40 mm	brown
ASP ₂	8×50 mm	red-brown
ASP ₁₂	20×40 mm	red-brown
ASP ₁₂ -NTA	8×20 mm	red-brown
SWI	8×80 mm	reddish
SWII	20×35 mm	pale brown

これ等の培養では、培養液によってノリの生長と葉型及び色調に多少の差違は見られたが何れも正常に生長し、最も生長の良いものは接種後50日で4cm²以上に達した (Table 17, Plate 2, F)。培養液として SWI を使用したものでは一般に葉型が狭くなる傾向が観察された。この実験によって、ノリはそ

の生長に好適な条件が与えられると季節に無関係に生長する事が判明した。換言すれば、天然における糸状体相への移行は環境条件に基づいている事が明らかとなった。尙、この条件の下では一部に生殖細胞の形成は見られたが、果胞子の形成は認められず周年葉体の培養が維持出来た。

実験 II.

実験 I の結果から、ノリの葉体の生長に重要なのは特に温度と光の物理的条件である事が明らかになった。次の問題はこの両要因のうち何れがその糸状体相への移行を誘因するかである。天然環境における水温の変化を見ると (Fig. 36), 各養殖場によって多少の差違はあるが単胞子として出現する時期 (秋) の温度はおおむね $20\sim 24^{\circ}\text{C}$ であり、果胞子を作って消失する時期 (春) は $8\sim 13^{\circ}\text{C}$ となっている。

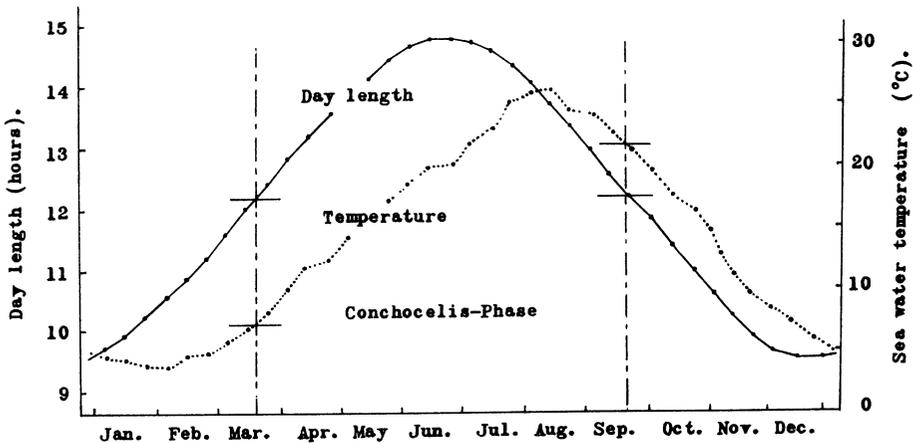


Fig. 36 Day length at Sendai and average sea water temperature in Matsushima Bay.

一方、水温とノリ葉体の呼吸量との関係は Fig. 20 の様で、夏季における海水温 $20\sim 26^{\circ}\text{C}$ はノリの生育に不適である事は明らかである。然し、果胞子を作り出す春先の海水温 $8\sim 13^{\circ}\text{C}$ は必ずしもノリ葉体の生育に不適とは考えられない。従って、問題はむしろ日週作用にある様に考えられたので、以下に述べる光週期に関する実験を行なった。

1. *Free-living* 糸状体からの単胞子から発芽した $1\times 2\text{ mm}$ の幼芽を 150 ml の SWI を含む深皿シャーレ内に接種し、電灯光 $6,000\text{ Lux}$, 1日8時間照明, $14\sim 16^{\circ}\text{C}$ の温度条件で培養を行なった (4月22日)。培養後1ヶ月でおおむね 3 cm^2 の大きさに達したので、同じ条件の下で隔日に連続照明と1日8時間照明とを10日間 (5月25日～6月4日) 交互に与えて見た。その後白色蛍光灯照明の $1,000\sim 2,000\text{ Lux}$, 1日8時間照明, $13\sim 15^{\circ}\text{C}$ の恒温槽に移して培養を続け観察を行なった。この処理によってノリの葉体は平らでなくなり縮んできた。1ヶ月後 (7月5日) には葉体の周辺部に色調の強い比較的大型の特殊な細胞* が多数散在しているのが見られた。40日後 (7月15日) にはこれ等の細胞はそのまま発芽管を出して生長を始め、2ヶ月後には糸状体として複雑に分枝して葉体の全面を覆う様になった。一方、培養容器の底部にも著しく多数の *Free-living* の糸状体が見られた。更に82日後 (8月25日) には多くの糸状体は単胞子嚢を形成しており、数日後には単胞子を放出し始めた。これ等の単胞子は蛍光の下で正常に発芽生長してノリ葉体となり、処理後140日に当たる10月10日には約 1 cm^2 の大きさに達した。この実験においてはノリの正常な生活環を約5ヶ月で繰返させる事が出来た。

2. 次の実験は発芽間もない幼芽に対する長日条件の影響について行なわれた。即ち、*Free-living* の

* 受精については不明であるが、機能的には果胞子と同様なので本紙では一応果胞子として考察を進める。

糸状体から放出された単胞子から発芽した約 0.5cm のノリの幼芽を 5 個体宛, SWI, SWII, ASP₁₂, ASP₂, ASP₁ の 5 種の培養液に接種し, 電灯光の約 3,500 Lux, 1 日 13 時間照明, 14~16°C の条件下で培養を行なった。一方同じ条件で照明時間だけを変え, 1 日 8 時間照明のものをもって対照とした。1 日 13 時間照明のものについて見ると, 生長は最初のうちは早いが無間もなく止まり, 葉片は一般に肉厚となり, ASP₁, ASP₂ 培養液のものは次第に褪色してきて不規則な形を示す様になった。接種後 20 日には葉体に色調の強い比較的大型の細胞が多数見られ, SWII 培養液のものでは 27 日後にこれ等の細胞から細い突起を出し伸長して分枝と生長とを繰返し, 2 ヶ月後には繁茂してきて *free-living* の糸状体となった。他の培養液のものでも培養液の種類により若干の差違及び遅速は見られたが, ほぼ同様の形態を示していた。培養液 ASP₂ のものでは, 接種 40 日後に多数の胞子を放出しているのが見られ, これ等の胞子は発芽管を出して生長し, 50 日後には 2~3 の分枝を有する若い糸状体となった (Plate 2, G)。従ってこれ等の胞子は果胞子であったものと推定される。一方, 対照のものは正常に生長し, 1 ヶ月後には約 3cm の長さに達した。

この実験は 9 月 8 日と 10 月 5 日の前後 2 回にわたって実施されたがほぼ同様の傾向が観察された。以上の実験から, 1 日 13 時間照明の長日条件の下ではノリの幼芽は大きく生長せず, 葉体の成熟 (性的分化) 及び果胞子の形成が促進される事が明らかになった。

実 験 III.

本実験は光週期と生殖細胞及び果胞子の形成との関係について知る目的で行なわれた。*Free-living* 糸状体からの単胞子を実験 I と同じ様にして集め, 100 ml の培養液 SWI を含む 200 ml 容のエルレマイヤーフラスコに接種して, 電灯光 4000 Lux, 13~15°C の温度条件で 1 日当りの照明時間だけを変えて培養を行なった。実験 II においては糸状体相への移行が問題とされたので, 観察は主に解剖顕微鏡を使用し培養試験管のガラス壁を通して行なわれたが, 本実験では葉体を取り出して生殖細胞の形成についても詳細に観察を行なった。観察の結果を要約して Table 18 に示す。

Table 18. Effects of photoperiods on leafy thalli of *Porphyra tenera*

Illumination daily (hrs)	Formation of reproductive cells	Production of carpospores	Growth after 60 days max. length in cm
24	21-25 days after germination	+++ 36 days	1.4
14	21-25 days	+++ 36 days	1.6
12	23-27 days	++ 40 days	2.3
10	55 days	+ 80 days	11.0
9	60 days	not clear	6.2
8	60 days	can not see for 90 days	4.8

Cultural condition : 4,000 Lux, 13-15°C, culture medium SWI.

即ち, 1 日 12 時間以上の照明 (長日条件) の下では葉体は早く成熟し, 発芽直後の生長は早かったが葉長 1 cm 前後で生長は止まりそれ以上生長しなかった。これに反し, 1 日 10 時間以下の照明 (短日条件) の下では一般に成熟は遅れ, 葉体は大きく生長した。1 日 9 時間以下の照明の下では生殖細胞も不完全となる様で, 果胞子の形成は認められなかった。10 時間の照明では 80 日後に果胞子の形成が認められたが, 長日条件のものに比べると数は少なかった。然し, 1 日 10 時間照明の下でも培養液を適当に更

新すると、果胞子の形成は更に遅れる（3ヶ月以上）事がその後の実験によって確認された。

以上の一連の実験によって、アサクサノリの生活環の移行は主に日照時間によるものである事が明らかとなり、実験室内で照明時間とその週期を適宜組合せる事によって、その生活環を人為的に調節管理する事が出来る様になった。

第4節 考 察

これ等の実験結果はアサクサノリの生活環及び生長力に関する二、三の問題の解明に役立つものと思われる。ノリの葉状体は適当な条件が与えられると季節に無関係に生長繁茂し、糸状体も貝殻等の基質がなく共正常に生長して単胞子嚢を形成し、単胞子を放出する。更に単胞子嚢形成及び単胞子の放出をも人為的に促進又は抑制出来る事等が以上の一連の実験結果から明らかとなった。

Free-living 糸状体の生態はカビ類の生態に非常に類似しており、1 mm 以下の体の一部からでも生長する事が出来、何回でも単胞子嚢を形成して単胞子を放出する。

糸状体の抗生物質（Candicine を除く）に対する抵抗性は比較的強く、或種の抗生物質、殊にペニシリンは低濃度において却って生長促進的に作用する。

温度に対する適応性は広く、0~32°C の範囲で生存可能である。生長及び単胞子嚢の形成には 16~22°C が好適で、その間では大きな差違は認められなかった。黒木¹¹²⁾は貝殻を基質とした糸状体を用いて実験を行ない、生長及び単胞子嚢形成の適温として夫々、15~24°C、21~27°C を与えている。著者の実験では設備の都合により 22°C 以上の温度条件で同じ光度を与える事が出来なかったので不明であるが、短日条件の下では *free-living* の糸状体についても同様の事がいえるかも知れない。然しながら、著者の実験においては、13~15°C、21~24°C の温度条件でも連続照明では単胞子嚢の形成は非常に遅れ、3ヶ月後においても僅かに膨大部が見られただけで、完全な単胞子嚢枝は認められなかった。黒木¹¹²⁾の温度に関する実験では光の条件については触れていないが、実験は冬季間の直射を避けた自然光の下で行なわれている。これ等の事実から温度条件も重要な要因に相違ないが、むしろ光週期の方が単胞子嚢の形成により直接的に作用する要因と考えられる。

次に光週期に関する実験について見ると、連続照明の条件のものは前に述べた通りであるが、1日8時間照明と10時間照明のものについて比較すると単胞子嚢の形成は1日8時間照明のものにおいて2~3日早く、更に単胞子の放出は4~5日早かった。この単胞子の放出については同じ温度条件ではないので論議出来ないが、単胞子嚢の形成に関しては1日10時間照明よりも8時間照明の方が効果的の様に思われる。この単胞子放出の日週期に関しては詳細に観察する事は出来なかったが、単胞子嚢が充分発達してくると放出は行なわれる様で放出の週期性は認められなかった。数例ではあるが、培養試験管を振盪する事により単胞子が放出（遊離）されるのを観察しており、静置培養では単胞子嚢枝上から直接発芽した幼芽も多数見られている。このような結果から、海水の動揺による物理的刺戟も大きく影響するのではないかと考えられる。然し、この点に関しては単胞子放出の機作と共に詳細な追試を必要とする様に思われる。

又、光に対しては糸状体は連続照明、間歇照明の何れでも生育が可能で、生長速度の面から見ると連続照明のものが1.5~2倍早く、色調は淡紅色を示した。尾形¹¹⁴⁾は貝殻を基質とした糸状体の生長量（貝殻面に対する垂直主枝の長さ）を測定し、2000 Lux の光度で生長が最も良かったと述べているが、著者の *free-living* の糸状体の培養では 3500 Lux の光度で最高の生長を示した。ただし、この光度まで比例的に生長量が増すものか否かについては明らかではない。尚、*free-living* の糸状体の大量培養には接種の際なるべく小さく切断して振盪培養を行なう事が効果的である事を附言しておきたい。

天然においては未だ *free-living* の糸状体は発見されていないが、恐らく海においても存在するのではないかと考えられる。根拠として、著者が貝殻を使用して行なった多くの実験において、貝殻より海水

中に伸長繁茂してくる糸状体を認めており、天然においても同様の事が考えられ、これ等の貝殻外に繁茂した糸状体は海水の流動によって切断され浮遊して生長する可能性が充分考えられるためである。更に、これ等の糸状体は比較的颜色が淡く、直径 $4 \sim 7 \mu$ の繊細な糸状形態なので発見され難く、一部は filter-feeder の魚の餌料となっている事も考えられ、貝殻に穿入生長して保護されたものだけが比較的多く生存し、又容易に見出されているのではないかと考えられるからである。とに角、貝殻に穿入して生活する事は、位置を固定し著しい環境条件の変化を避けるのに好都合であるばかりでなく、filter-feeder の動物に対する保護適応形態とも考えられ、この点植物自身の合目的性といえるかも知れない。今後、海における糸状体の生態については上記の点をも考慮に入れて詳細な研究が行なわれる事が望まれる。

次にアサクサノリの生活史について二、三を附言すると、培養実験においては同一の物理・化学的条件下で葉状体と糸状体を同時に培養、維持出来、その生活環を5~6ヶ月で繰返させる事が出来た。この事実はアサクサノリの生活史にとって一定の時間的な週期は必ずしも必要ではなく、多くは環境条件によって規定される事を示している。従って、我々の観察している生活史というのはアサクサノリの自然環境に対する適応形態であるという事が出来そうである。以上の実験結果は、その生活史を自然環境に対する適応形態と見做す事により、自然環境に類似の物理的条件(主に日週期)を人為的に与える事によって得られたものである。

海藻類の日週性に関する報告は全然なくあまり考慮されていない様であるが、アサクサノリの葉状体に関する限りは短日性の植物と結論して差支えない様に思われる。

結 語

ノリの養殖を合理的に行なうには、その生産を制約している天然の環境を解析し、各環境要因についてノリの生理の面から生育に最適の条件を究明する事が必要である。そしてその条件に適合する水域を養殖場として選び、又それに合致する管理を施さねばならない。この様な観点から、一連の研究実験を試みた。

第1,2章において、東北地方における代表的なノリ養殖場である松島湾と松川浦の調査研究結果について論じた。この二つの養殖場は地理的には比較的近接した位置にあるが、その環境特性は全く対蹠的である。即ち、松島湾においては栄養塩は主に都市と漁港からの廃棄物の分解によって補給されており、潮汐により流入する沿岸水と適度に混合して独自の内湾的性状を示している。これに反して、松川浦のノリ養殖場は水の交替が良く、沿岸水の影響を受け易く水質的には隣接する沿岸水と大差は見られない。従って栄養塩類は沿岸水のそれに依存しているものと考えられる。

東北地方における主なノリ養殖場は気仙沼湾、松島湾、万石浦及び松川浦等で、最近三陸沿岸の諸内湾、牡鹿半島水域の内湾等において新漁場が開拓されつつある。以下に本調査結果を基礎とし、今井等の万石浦⁴¹⁾及び気仙沼湾¹²⁰⁾の生態調査結果を参照してこれ等の養殖場を環境特性、特に栄養塩の供給という観点から類型分類を試みる。

第 I 型 (内湾型) 松島湾を典型とする栄養塩の比較的豊富な内湾で、内湾度が高く栄養塩は主に陸地—沿岸都市、漁港及び流入河川等により補給されている養殖場。例、松島湾

第 II 型 (外洋型) 松川浦を代表とする貧栄養の養殖場で内湾度が低く、沿岸水の影響を受け易く栄養塩は大部分流入する沿岸水によって補給されると考えられる養殖場。

例、松川浦、牡鹿湾及び三陸沿岸の間口広く奥行の浅い内湾。

第 III 型 (中間型) 第 I 型と第 II 型の間中間の特徴を示す養殖場。例、気仙沼湾、万石浦。

ノリ養殖場の環境条件としては内湾度の高い第 I 型が最適と考えられるが東北地方においてはこれに

属するものは松島(塩釜)湾だけである。他の大部分の養殖場は程度の差はあるが太平洋沿岸水の影響を受けており、沖合の海流の変動によっても影響を受けるので環境的には比較的不安定な状態にある。すでに明らかな様に東北地方のノリ養殖場の一般的特徴は栄養塩類の少ない事で、これがノリの生産を制約する主な要因となっている。この様な制約条件の下でノリの品質を向上し、更にもその増収を図るには何等かの形で栄養塩を供給すべきであり、効果的な施肥の技術の研究が強く望まれる。貧栄養の松川浦では水の流通がノリの品質に関係する重要要因となっているが、松本¹²¹⁾も水流はノリ養殖上、その漁場構成要因として重要であると論じている。本地方のノリ養殖場の如く栄養塩の欠乏しているところでは水流は栄養塩の補給という面から特に重要な意義を有しており、ノリの養殖に際してはこの点を充分考えられねばならない。

次にノリの環境要素全般について考察する。ノリ生育の好適水温については光合成活力を測定して13~16°Cとしたが、富士川¹⁶⁾によると生育段階によって異なり幼葉では11~13°Cで生長が最も旺盛であるとしてあり一致していない。光合成活力と生長との関係については尙検討を必要とするが、この相違は恐らく実験条件(他の環境要素)の相違に基づくものと考えられる。然し、電灯光を使用した培養実験では14~16°Cの温度で周年培養が維持された事(第6章)から考え、13~16°Cはノリの生育に対する好適条件と考えて差支えない様に思われる。

光はノリの生育と密接不可分の関係にあるが、培養等の特殊の場合を除き人為的に容易に制御出来る要因ではない。然し、ノリの基本的な生理を支配するものであり是非解明されねばならない問題である。実験の結果光源としては天然光が最も優れており、人工光では電灯光が良く蛍光は良くない事がわかった。これは明らかに構成光波長の相違に基づくもので、ノリの色素との関連において興味深い問題である。最も重要なのはノリの葉体はその正常な生育に一定週期の暗条件を必要とする事で、1日8~9時間の照明がノリの健全な生育に最適である事が判明した。光の強さに関しては特別な実験は行っていないが室内の静置培養で自然光の約15,000 Luxの下で良い生長を示した。従って、ノリ幼芽の発育に対しては温度と光週期とが適度であれば15,000 Luxまでは明るい方が良いと推論出来る。

ノリの生育に対し海水中に欠乏し易い要素は窒素、磷、微量金属等で、磷は特に初期の生育に対して重要な役割を果たしており、鉄は色素形成に関与するものと考えられる。鉄、マンガン、コバルト、銅とEDTAとの金属キレート化合物はノリの生育を著しく(30~60%)促進する。

ノリの正常及び最少窒素要求量は夫々乾燥重量の5.5~7.0%及び4~5%で絶対必要量は1.2~1.3%と推定される。ノリの窒素源としては吸収の面からはアンモニヤ態窒素及び尿素等が速やかに吸収されるが、長期間の生長から見ると硝酸態窒素が最も優れている。無機態の窒素が欠乏した場合には有機態窒素も或程度利用出来る様である。窒素源の至適濃度は窒素化合物の形態によっても異なるが静置培養で硝酸態窒素の場合Nとして10~30 mg/lである。ノリによる窒素の吸収量と磷の吸収との間には特別な関係は認められない。

ノリの磷含有量は変動が多くその正常、最少要求量を導き出す事は困難であるが、磷の絶対必要量は乾燥重量の0.07~0.08%と考えられる。ノリの磷酸吸収能、吸収速度及び量はノリの生理状態(活力及び磷貯蔵量)によって異なり、又海水の性質(触媒活性度)によっても影響されるが磷の欠乏した葉体では海水中の磷濃度が150~200 µg/lまでは吸収量は濃度に比例して増大する。更にノリは光合成とは無関係に暗所で無機態の磷を吸収する。磷酸源としては無機態の磷酸塩以外に、有機態のグリセロ磷酸ナトリウム、アデニル酸、グアニル酸も利用出来る。磷酸源として無機態の磷酸と有機態磷酸の優劣については一概に論じ難いが、培養の際は溶解性と持続性の点で有機態の磷酸が良いといえる。磷の至適濃度は第1磷酸カリウムの場合P 10 mg/lで、20 mg/lの濃度でも阻害作用は認められず、グリセロ磷酸ナトリウム使用の場合はP 4~20 mg/lで、一般に有機磷化合物の至適濃度の範囲は広がっている。

ノリの生長は0.5%前後の炭酸ガス分圧の下で最も良いが、1.5%になると阻害作用が現れてくる。

ノリの光合成量と窒素及び磷の吸収量との間には特に明瞭な関係は見られない。

次に微量要素の要求について見ると、ノリの生育には鉄、マンガン、硼素、亜鉛、ルビヂウム、リチウム、ヨウ素、ストロンチウム及びモリブデンを必要とし、金属の種類によって至適濃度は異なるが、その存在により生長は2~12倍も促進される。コバルト及び臭素の要求については不明である。ビタミンについて見ると、 B_{12} はその生育に不可欠の要素であり、 B_{12} なしにはノリの葉体、糸状体共に正常に発芽生長し得ない。一方、植物ホルモンではインドール酢酸は $20 \mu\text{g/l}$ で3倍、カイネチンは $20 \mu\text{g/l}$ で1.6倍、アデニンは 5mg/l で約3倍、又ジベレリン酸では $400 \mu\text{g/l}$ の濃度で実に5倍もの生長(夫々対照に比し)を与えた。グリシン、各種ロイシン及びバリン、アスパラギン等のアミノ酸も又僅かではあるが生長促進作用が認められた。これ等の事実は注目すべきであり、浅海における植物の分布、生態に興味ある示唆を与えるものである。

アサクサノリの生活環の人工管理については第6章で論述した。本研究によってノリの生活環は環境条件に対する適応形態である事が明らかとなり、更に糸状体はその生育に必ずしも貝殻等の基質を必要とせず、合成培養液及び栄養塩添加海水中でも充分生長して単胞子を放出する事が判明した。この *free-living* 糸状体の生長に対する適温は $16\sim 22(24)^\circ\text{C}$ である。光度は 3500Lux までは強い程一般に生長は速く、光質にはあまり関係しない様である。 $16\sim 22(24)^\circ\text{C}$ の温度条件で短日条件を与えると単胞子嚢が形成される。又、葉状体は好適な物理条件と培養液が与えられると季節に無関係に正常に生長する。光週期は葉状体の成熟(性的分化)に影響を与え、長日条件の下では単胞子の発芽から3週間後にはすでに生殖細胞の形成が見られ、 $36\sim 40$ 日後に果胞子を放出し、この果胞子は発芽生長して *free-living* の糸状体となった。従って、葉状体と糸状体は光週期の条件だけを変える事によって同時に培養出来、両者共周年培養が維持出来る。アサクサノリの葉状体はその生態から短日性植物といえる。

以上、アサクサノリの生態、栄養生理及び培養と生活環の人工管理について論述した。本研究は現象の解明と生理に関する基本実験を主としており応用面に直結するところは少ないが、ノリの養殖適地の選定及び施肥を含めた養殖管理の基礎として役立つものと信ずる。ノリの養殖において最も重要とされるのは採苗(胞子付け)の問題である。*Free-living* の糸状体は培養液だけで非常に能率的に生長増殖するばかりでなく、ノリの害敵である附着珪藻を完全に除いて培養出来、更に人為的にその成熟及び単胞子の放出を調節出来るので季節に無関係に大量の種苗を確保出来る。これは応用面において重要な意義を有する。

引 用 文 献

- 1) KJELLMAN, F. R. : Japanska Arter of Slagtet Porphyra,, Bihang Till K. Svenska Vet. Akad. Handlinger Band **23**, Afd. III. No. 4, (1897).
- 2) 岡 村 金 太 郎 : 海藻学汎論, 第9 図版, (1900).
- 3) _____ : 日本藻類名彙, p. 10, (1902).
- 4) _____ : 同上 : 第2 版, p. 9, (1914).
- 5) 殖 田 三 郎 : 日本産アマノリ類の分類学的研究., 水講研究報告, **28**, 1~45, (1932).
- 6) TANAKA, T. : The systematic study of the Japanese Protofloridae., Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ., **2**, 1 (1951).
- 7) 殖 田 三 郎 : アサクサノリの生活史について., 水講試験報告, **24**, 180 (1929).
- 8) _____ : アサクサノリの生活史に関する研究., 日水誌., **6**, 91~104. (1932).
- 9) KUNIEDA, H. : On the life-history of *Porphyra tenera* KJELLMAN., J. Coll. Agri. Tokyo Imp. Univ., **14**, 377-405 (1939).
- 10) DREW, K. M. : Conchocelis-phase in the life history of *Porphyra umbilicalis* (L) Kutz., Nature **164**,

- No. 4174, p. 748 (1949).
- 11) 右田清治：アサクサノリの異常発芽について., 水産学会九州大会講演 (1951).
 - 12) 新崎盛敏：アサクサノリの果胞子発芽について. 同上 (1951).
 - 13) 黒木宗尚：アサクサノリの生活史の研究 第1報 果胞子の発芽と生長., 東北水研研究報告, **2**, 67~103 (1953).
 - 14) 曾呈奎・張徳瑞：紫菜の研究 I 甘紫菜の生活史., 植物学報 **3**, 287~302 (1954).
 - 15) ————：紫菜の研究 II 甘紫菜の糸状体段階及甘殻胞子., 植物学報 **4**, 27~46 (1955).
 - 16) 富士川 滲：朝鮮ノリの生理に関する研究., 朝鮮水試事業報告, **7**, 1~135 (1932).
 - 17) ————, 朝鮮水試報告, **8**, 1~131 (1933).
 - 18) MATSUDAIRA, C. and H. IWASAKI : On environmental characteristics of cultural ground of a laver, *Porphyra tenera* KJELLMAN in Matsushima Bay., Tohoku J. Agri. Res., **3**, 277-291 (1953).
 - 19) 岩崎英雄・松平近義：松川浦アサクサノリ養殖場の研究-I. アサクサノリの窒素・燐含有量に影響する環境要因について., 日水誌, **20**, 112~119 (1954).
 - 20) ————・———：松川浦アサクサノリ養殖場の研究-II. 可能生産力について., 日水誌, **20**, 380~385 (1954).
 - 21) IWASAKI, H. and C. MATSUDAIRA : Studies on the physiology of a laver, *Porphyra tenera* KJELLM., Tohoku J. Agri. Res., **7**, 65-83 (1956).
 - 22) 岩崎英雄・松平近義：アサクサノリの培養に関する研究 I. II., 水産学会年会講演 (1956).
 - 23) ————・———：同上 III., 水産学会年会講演 (1957).
 - 24) IWASAKI, H. and C. MATSUDAIRA : Studies on the physiology of a laver, *Porphyra tenera* KJELLM. III Chemical factors influencing upon the photosynthesis., Tohoku J. Agri. Res., **8**, 47-54 (1957).
 - 25) 岩崎英雄・松平近義：アサクサノリの培養-I. 培養条件に関する予備実験., 日水誌, **24** 398~401 (1958).
 - 26) IWASAKI, H. : The life-cycle of *Porphyra tenera* *in vitro*., Biol. Bull., **121**, 173-187 (1961).
 - 27) 木下祝郎・寺本賢一郎：アサクサノリの光合成に関する二, 三の知見., 藻類, **6**, 11~16 (1958).
 - 28) ————・———：アサクサノリの生長に対する“ジベレリン”の効果., 藻類, **6**, 85~88 (1958).
 - 29) 木下祝郎・寺本賢一郎：アサクサノリの生長に対する光及び水温の影響., 日水誌, **24**, 326~329 (1958).
 - 30) 寺本賢一郎・木下祝郎：人工海水による“アサクサノリ”培養についての二, 三の知見., 藻類, **8**, 66~71 (1960).
 - 31) ————・———：“アサクサノリ”の生長に対するアミノ酸及びプリン類の効果., 藻類, **8**, 90~95 (1960).
 - 32) 須藤俊造：アサクサノリの室内培養の方法について, 水産増殖, **7**, 7~11 (1960).
 - 33) 寺本賢一郎・木下祝郎：“アサクサノリ”の光合成に関する二, 三の知見., 藻類, **9**, 77~82 (1961).
 - 34) 奥田譲・中山正作：浅草海苔の品質について., 東京帝大農科大学紀要, **5**, 4, (1916).
 - 35) 松平近義：海水の触媒活性., 水産学集成, 313~344 (1957)
 - 36) WATTENBERG, H. : Critical review of the methods used for determining nutrient salts and related constituents in salt water., Rapp. Proc. Verb. Cons. Int. Explor. Mer., **103**, 5-25 (1937).
 - 37) WINKLER, L. W. : Zeit. Unters. Nahrungs, Genussmittel, **49**, 163-165 (1925).
 - 38) 神戸海洋気象台編：海洋観測法：第5版, 167~234 (1949).
 - 39) COOPER, L. H. N. : The determination of phosphorus and nitrogen in plankton., J. Mar. Biol.

- Ass. U. K., **19**, 755-759 (1934).
- 40) 落合英二, 津田恭介: 炭素・窒素微量定量法, 93~103, 南山堂, 東京, (1948).
- 41) IMAI, T., M. HATANAKA, R. SATO and S. SAKAI: Ecology of Mangoku-ura inlet with special reference to the seed-oyster production., Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ., **1-2**, 137-157 (1951).
- 42) HARVEY, H. W.: Oxidation in sea water., J. Mar. Biol. Ass. U. K., **13**, 953-969 (1925).
- 43) HARVEY, H. W.: Nitrate in the sea I. A method for estimating nitrates in sea water., J. Mar. Biol. Ass. U. K., **14**, 71-88 (1926).
- 44) 松江 吉行: 品川湾ノリ養殖場の海洋化学的性状., 水産学会報 **7**, 35~62 (1936)
- 45) COOPER L. H. N.: The nitrogen cycle in the sea., J. Mar. Biol. Ass. U. K., **22**, 183-209 (1937).
- 46) 第二管区海上保安本部: 水路月報, **5** (2), (1954).
- 47) HARVEY, H. W.: Nitrogen and phosphorus required for the growth of phytoplankton., J. Mar. Biol. Ass. U. K., **24**, 115-123 (1940).
- 48) RILEY, G. A.: Phytoplankton-zooplankton relationships on Georges Bank., J. Mar. Res., **6**, 33-47 (1946).
- 49) KETCHUM, B. H.: The absorption of phosphate and nitrate by illuminated cultures of *Nitzschia closterium*., Am. J. Bot., **26**, 399-407 (1939).
- 50) 和田 憲夫: 松川浦の湖沼学的研究., 日水誌 **7**, 302-304 (1939).
- 51) 藤原 彰夫: 植物体内における磷酸の形態., 農業及び円芸, **23**, 331-333 (1948).
- 52) 安芸 岐一: 流量測定, 河出書房, 東京 (1946).
- 53) 水路 部: 潮汐表, 水路部, 東京 (1952), (1953).
- 54) MUNK, W. H. and G. A. RILEY: Absorption of nutrients by aquatic plants., J. Mar. Res., **11**, 215-240 (1952).
- 55) 敦賀花人・新田忠雄: 海藻の生理化学的研究 I. 温度変化, 干出が同化作用に及ぼす影響について., 内海区水研研究報告, **10**, 37-41 (1957).
- 56) 松江吉行: 海産珪藻 *Skeletonema* の培養, 水産学の概観, 1~39, 日本学術振興会, 東京(1954)
- 57) HARVEY, H. W.: On the rate of diatom growth., J. Mar. Biol. Ass. U. K., **19**, 253-276 (1933).
- 58) HARDER, R. and H. WITSCH: Ber. Deut. Botan. Ges., **60**, 146-152 (1943).
- 59) PIRSON, A.: Functional aspect in mineral nutrition of green plants., Ann. Rev. Plants Physiol. **6**, 71-114 (1955).
- 60) COOPER, L. H. N.: Some conditions governing the solubility of iron., Proc. Roy. Soc. B., **124**, 299 (1937).
- 61) PROVASOLI, L., J. J. A. McLAUGHLIN and M. R. DROOP: The development of artificial media for marine algae., Archiv. Mikrobiol., Bd **25**, 392-428 (1956).
- 62) 高山 治夫: 海草ノリの生長並びに品質に及ぼす比重の範囲について., 水研誌, **32**, 66-69 (1937).
- 63) 金子 政之助: 海苔浮浜に関する研究., 全羅南道水試報告, **8** (1935).
- 64) 須藤 俊造: 東京湾産アサクサノリの種類(予報)., 日水誌, **15**, 649-652 (1950).
- 65) 黒木 宗尙: 養殖ノリの種類., 水産増殖, **4**, 21~28 (1957).
- 66) ZOBELL, C. E.: The assimilation of ammonium nitrogen by *Nitzschia closterium* and other marine phytoplankton., Proc. Nat. Acad. Sci. Wash., **21**, 517-522 (1935).
- 67) ATKINS, W. R. G.: Phosphate content of fresh and salt waters in its relationship to the growth of the algal plankton., J. Mar. Biol. Ass. N. S., **13**, 119-150 (1923)
- 68) KETCHUM, B. H. and REDFIELD, A. C.: Some physical and chemical characteristics of algae in

- mass culture, J. Cell. Comp. Physiol., **33**, 281-299 (1949).
- 69) MYERS, J. : Culture conditions and the development of the photosynthetic mechanism. III. Influence of light intensity on cellular characteristics of *Chlorella*, J. Gen. Physiol., **29**, 419-427 (1946).
- 70) KETCHUM, B. H. : The development and restoration of deficiencies in the phosphorus and nitrogen composition of unicellular plants., J. Cell. Comp. Physiol., **13**, 373-381 (1939).
- 71) SPORE, H. W. and H. W. MILNER : The chemical composition of *Chlorella*; Effect of environmental condition., Plant Physiol., **24**, 120-149 (1949).
- 72) CRAMER, M. and MYERS, J. : Nitrate reduction and assimilation in *Chlorella*, J. Gen. Physiol., **32**, 93-101 (1948).
- 73) PEARSALL, W. H. and M. C. BILLMORIA : Looses of nitrogen from green plants., Biochem. J. (London), **31**, 1743-1756 (1937).
- 74) PEARSALL, W. H. and L. LOOSE : The growth of *Chlorella vulgaris* in pure culture., Proc. Roy. Soc. London, **121**, 451-501 (1937).
- 75) PRATT, R. and J. FONG : Am. J. Bot., **27**, 735-742 (1940).
- 76) RYTHER, J. H. : The ecology of phytoplankton blooms in Moriches Bay and Great South Bay, Long Island, New York., Biol. Bull., **106**, 198-209 (1954).
- 77) LUND, J. W. G. : Studies on *Asterionella formosa* Hass. II. Nutrient depletion and the spring maximum., J. Ecol., **38**, 1-35 (1950).
- 78) GOLDBERG, E.D., T. J. WALKER and WHISENAND : Phosphate utilization by diatom., Biol. Bull., **101**, 274-284 (1951).
- 79) RODHE, W. : Environmental requirements of fresh water plankton algae., Symbolae Bot. Upsalienses, **10**, 1-149 (1948).
- 80) 野 沢 洽 治 : ノリの養分吸収と施肥., 水産増殖, **7**, 1~12 (1959).
- 81) CHU, S. P. : J. Mar. Biol. Ass. U. K., **26**, 285-295 (1946).
- 82) HARVEY, H. W. : Note on the absorption of organic phosphorus compounds by *Nitzschia closterium*, J. Mar. Biol. Ass. U. K., **31**, 475-476 (1953).
- 83) BUCH, K., H. W. HARVEY, H. W. WATTENBERG and S. GRIPENBERG : Über das Kohlensäuresystem in Meerwasser., Rapp. Cons.Explor. Mer., **79**, 1-07 (1932).
- 84) BUCH, K. and O. NYNAS : Studien über neuere pH Methodik mit besonderer Berücksichtigung des Meerwassers., Acta Acad. äbo, Math. et Phys., **12**, 41 pp. (1939).
- 85) 須藤俊造・梅林脩 : アサクサノリの培養について—I. 生長の速さと pH., 水産学会年会講演(1959).
- 86) HARVEY, H. W. : Recent Advances in the chemistry and biology of sea water., 1-164, Cambridge Univ. Press, England (1945).
- 87) OSTERLIND, B. : Symbolae Botan. Upsalienses **10**, 1-141 (1949).
- 88) OSTERLIND, S. : Physiol. Plantarum, **3**, 353-360 (1950).
- 89) STEEMANN NIELSEN, E. : Nature, **158**, 594-596 (1946).
- 90) STEEMANN NIELSEN, E. : Dansk Botan., Archiv., **12**, 1-71 (1947).
- 91) 岩 崎 英 雄 : 海水中の栄養塩組成と海藻の生長及び窒素・磷含有量との関係, 日水・東北支部会報 **9**, 33-38, (1958).
- 92) VISCHER, W. : Zur Morphologie, Physiologie und Systematik der Blutalge., *Porphyridium cruentum* Naegeli., Verh. Natur. Gesellsch. Basel., **XLVI**, 66 (1935).
- 93) FISH, G. R. : Bacteria free culture using penicillin., Med. Goteborgs Bor. Tradgard **xviii**. (1950).

- 94) FOGG, G. E. and G. T. BOALCH : Extracellular products in pure culture of a brown algae., *Nature*, **181**, 789 (1958).
- 95) SPENCER, C. P. : On the use of antibiotics for isolating bacteria-free culture of marine phytoplankton organisms., *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **31**, 97-106 (1952).
- 96) PROVASOLI, L., I. J. PINTNER and L. PACKER : Use of antibiotics in obtaining monoalgal bacteria-free culture., *Proc. Am. Soc. Protozool.*, **2**, 6 (1951).
- 97) PROVASOLI, L. : Effect of plant hormon on *Ulva*., *Biol. Bull.*, **114**, 374-385 (1958).
- 98) FRIES, L. : The influence of different B₁₂ analogues on the growth of *Goniotrichum elegans* (Chauv.), *Physiologia Plantarum*, **13**, 264-275 (1960).
- 99) BORTELS, H. : Bedeutung des Molybdäns für stickstoffbindende Nostaceen., *Arch. Mikrobiol.*, **11**, 164 (1940).
- 100) HALL, H. H., J. C. BENJAMIN, H. M. BRICKER, R. J. GILL, W. C. HAYNES and H. M. TSUCHIBA : A survey for B₁₂-producing microorganisms., *Soc. Am. Bact. Proc. 50th meeting*, p. 21 (1950).
- 101) ERICSON, L. and L. LEWIS : On the occurrence of B₁₂ factors in marine algae., *Ark. Kemi.*, **6**, 427-442 (1953).
- 102) BRIAN, P. W. : The effect of some microbial metabolic products on plant growth., *Symp. Soc. Exp. Biol.*, **11**, 166-182 (1957).
- 103) DREW, K. M. : Studies in the Bangioideae III. The life-history of *Porphyra umbilicalis* (L.) Kutz. var. *laciniata* (Lightf.) J. Ag., *Ann. Bot.*, **18**, 183-211 (1954).
- 104) 黒木 宗 尚 : アサクサノリの糸状体の単胞子の放出について., *東北水研研究報告*, **2**, 104-108 (1953).
- 105) 山 崎 浩 : アサクサノリ (*Porphyra tenera*, KJELLM.) 糸状体の生態-I. 日水誌, **20**, 442-446 (1954).
- 106) 山 崎 浩 : アサクサノリ (*Porphyra tenera*, KJELLM.) 糸状体の生態-II. 特に糸状体より放出された胞子について., *日水誌*, **20**, 447-450 (1955).
- 107) 竹内卓三・松原孝之・下中元信・須藤俊造 : 海に入れたノリの *Conchoecelis*-phase からの胞子の放出とヒビ建て時期., *日水誌*, **20**, 487-489 (1954).
- 108) 須藤俊造・並山武男・梅林脩 : アサクサノリの *Conchoecelis*-phase からの胞子放出について., *日水誌*, **20**, 490-493 (1954).
- 109) 黒木 宗 尚 : アサクサノリ糸状体の単胞子放出について (2) 放出の日週期., *東北水研研究報告*, **4**, 279-282 (1955).
- 110) 黒木宗尚・平野和夫 : アマノリ類の糸状体の単胞子放出について (海での実験)., *東北水研研究報告*, **8**, 27-44 (1956).
- 111) ————・———— : アサクサノリの糸状体の生長・単胞子嚢形成・単胞子放出と水温との関係., *同上*, **8**, 45~61 (1956).
- 112) 黒木 宗 尚 : アマノリ類糸状体の生長・成熟と光条件., *同上*, **15**, 33~42 (1959).
- 113) 尾 形 英 二 : ノリ糸状体の生長に関する研究., *水講研究報告*, **10**, 423~500 (1961).
- 114) 野 沢 治 治 : アサクサノリ糸状体の培養., *日本水産学会年会講演*, (1960).
- 115) 黒木 宗 尚 : 乾燥, 塩分, 光線がアマノリ類の糸状体に及ぼす影響., *東北水研研究報告*, **4**, 262~278 (1955).
- 116) 竹内卓三・下中元信 : 糸状体の致死条件について., *日水誌*, **22**, 16~20 (1956).
- 117) 斉 藤 雄 之 助 : アサクサノリ糸状体の生長・成熟に及ぼす二, 三の要因の影響., *日水誌*, **22**, 21-29 (1956).

- 118) DROOP, M. R. : Conditions governing haematochrome formation and loss in the alga *Haematococcus pluvialis*, Flotow., Arch. für Mikrobiol., Bd. 20, 391-397 (1954).
- 119) DROOP, M. R. : Some factors governing encystment in *Haematococcus pluvialis*., Arch. für Mikrobiol., Bd. 21, 267-272 (1955).
- 120) 今井丈夫・伊藤進・小野寺弘 : 気仙沼湾の生態学的研究., 気仙沼湾開発研究会, (1957).
- 121) 松本文夫 : ノリの生育に対する環境, 特に水流の影響に関する研究., 広島大学水畜産学部紀要, 2, 249-333 (1959).

SUMMARY

Cultivation of the red sea-weed *Porphyra tenera* was started in Japan several centuries ago. It is now the largest industrial cultivation of any marine products. Despite this fact, more knowledge of *Porphyra* is needed for improving methods of cultivation—to bring them under a control comparable to that achieved in land agriculture. In this paper, the results of ecological and physiological studies on *P. tenera* are contained.

I. Ecology.

Environmental characteristics both on Matsushima Bay (Miyagi pref.) and Matsukawa-ura inlet (Fukushima pref.), where the cultural industries are practising, were investigated. Several factors affecting the production of *Porphyra* were clarified from the results of survey. These results are summarised in Figs. 1-18, and Tables 1-4. The relation between the growth of *Porphyra* thalli and the environmental factors were also examined (Figs. 19-30, and Tables 5-7).

II. Nutrition.

Experimental results on mineral nutrition of *P. tenera* are shown in Figs. 31-35, and Tables 8-12. Axenic culture of *P. tenera* was obtained by the "dip and drag" technique in an agarized medium containing antibiotics. Then, vitamins requirements and effects of plant hormones were examined. The results are indicated in Tables 13-14. In axenic culture of *P. tenera* needs vitamin B₁₂ for growth.

III. Artificial management of the life-cycle.

The complete life-cycle of *P. tenera* was obtained *in vitro*. Chemically defined media or enriched sea-water permit good growth of these unialgal (not bacteria-free) cultures. Under suitable light and temperature, the entire life-cycle is completed in 5-6 months. Both the *Conchocelis* and the thallus phases grow out of season. The *Conchocelis* phase grows well free in liquid media; a calcareous substrate is unnecessary. Monosporangia formation and release of fertile monospores are induced by short-day conditions (8-11 hours daily); monosporangia and germinating monospores develop after 1-2 months from the inoculation of the *Conchocelis* filaments (Table 16). A daily photoperiod of 13 hours inhibits growth of young thalli. Carpospores production are induced by long-day conditions (Table 18). The experiments show that the length of the photoperiod has remarkable effects on the *Conchocelis* and leafy-thallus phases of *P. tenera*. The photoperiod governs, besides growth, the formation of the spores producing the next phase of the life-cycle.

Plate 1.

- A. Colonies of free-living *Conchocelis* in artificial medium. ($\times 1.8$)
- B. Free-floating *Conchocelis* (detail of plate 1C). ($\times 0.8$)
- C. Mass culture of *Conchocelis* in aerated 5-liter bottle, continuous light. ($\times 1/5$).
- D. Typical monosporangia formed in short day conditions (8-11 hours daily). ($\times 110$)
- E, F. Same detail. (E. $\times 540$, F. $\times 580$)
- G. Sporangia formed in continuous illumination. ($\times 480$)

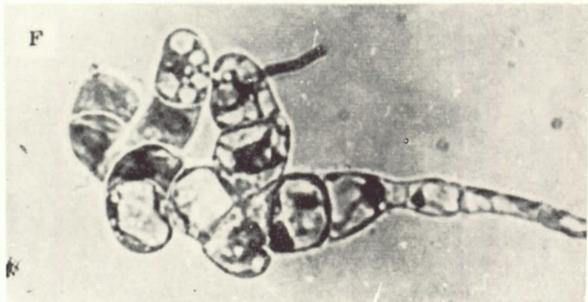
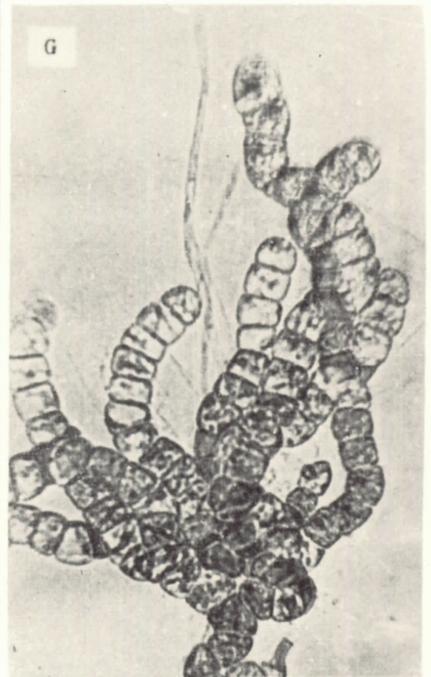
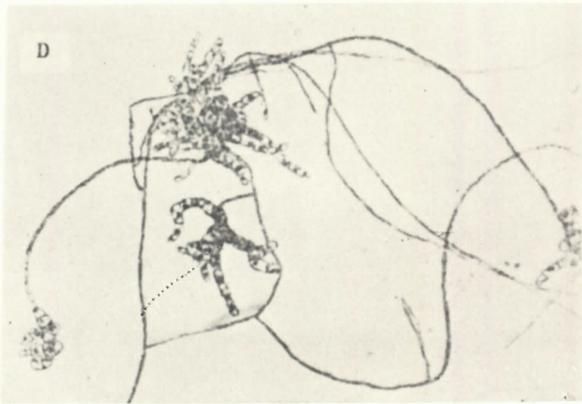
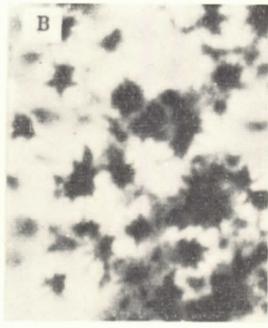
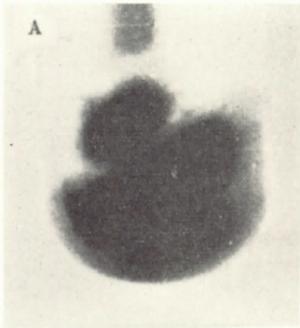


Plate 2.

- A, B, C, D. Inflated cells (sporangia ?) produced in subdued light. A, B. $\times 820$, C, D. $\times 1250$.
- E. Young thallus germlings, and monospores. ($\times 135$)
- F. Two-month-old thalli grown in test tube. From left, medium SWI, SWII, ASP12, ASP1. ($\times 1$)
- G. young thallus degenerated under long-day conditions (13 hours daily). Lower part bleached; large pigmented cells at top; *Conchocelis* filaments germinating from "spores". ($\times 50$)
- H. Root-like projections growing out of a young thallus grown in SWII under long-day conditions. ($\times 140$)

