ノリの化学組成と環境要因との関連—II.

ノリの化学組成に対する海水組成変化の影響

富士川龍郎・八尋政利・樋口俊弘・和田正太

(1971 年 3 月 29 日受理)

Correlation between the Chemical Composition of Lavers
and the Environmental Factors—II.Influences by Change of Components in the Culture Sea
Water on the Chemical Composition of LaversTatsuo FUJIKAWA*, Masatoshi YAHIRO**, Toshihiro HIGUCHI***
and Masafuto WADA*

Porphyra tenera and *P. yezoensis* were cultured in many culture sea waters of various chemical compositions and 14 inorganic and organic compounds of the lavers were analyzed.

The correlation between chemical compositions of lavers and compounds of the culture sea waters have been discussed.

1) The quantity of Mn, P and total nitrogen in lavers showed great variations according to their contents in the culture sea waters. The concentration of Mn, P and nitrogen in the culture sea waters was sufficient at Mn: 0.066, P: 1.02, and nitrogen: 9.3 mg/l to obtain maximum contents of the respective components. On the other hand, influences on K, Mg, Ca, Fe and S were insignificant.

2) Carbohydrate was classified into three groups, namely, readily acid-soluble sugar, acid-insoluble, alkali-soluble sugar and highly acid-, alkali-resistant sugar. It was recognized that the sum of the sugars and crude protein is nearly constant.

3) The contents of P and acid-insoluble, alkali-soluble sugar in lavers cultured in the early season were higher than in the late season.

4) When physiologically injured lavers were cultured, contents of K, Mn, P and total nitrogen were low while Mg and carbohydrate were high.

5) Interactions and influence of specific gravity of the culture sea water were extremely minimal.

従来打立てられてきたノリ養殖技術は、装置も操作法も原則的に波の静かな浅い所で、かつ栄養の豊富な場所に適応した方法である。しかし、このような養殖法に適した場所を今日新たに見出すことはほとんど不可能である。従つて新漁場を開拓しようとするれば、当然沖合に出なければならない。しかし沖合は、波が激しいこと、水深 20~30 m までを漁場と考えると、原則として水面浮遊ヒビを使用することとなること、栄養塩が一般には不足していること、ヒビの露出は困難である等の悪条件下にあり、これらを克服しなければ沖合を新漁場として開拓することはできないであろう。このような問題解決のためには、装置やその材料の

* 九州大学農学部食糧化学工学科 (Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka, Japan)

** 雪印乳業 K. K. (Snow Brand Milk Products Co., Ltd., Kita-ku, Akabane-kita, Tokyo, Japan)

*** 東京田辺製菓 K. K. (Tokyo Tanabe Co., Ltd., Chyūō-ku, Kobunemachi, Tokyo, Japan)
(印刷費負担)

研究と同時に、まずノリの周囲条件の一切を抽出し、それとノリ自体の状態（生長速度のような生理的状态や化学組成のすべて）との関係を究明し、理想としてはこの両者間の関係を表す関係式を導き、これを条件式としてノリ産額を最大にするようにその場所、その年の気象あるいは海況に応じた最適のノリ養殖技術を定めて行くべきものと考えられる。勿論完全な関係式が簡単に得られるとは考えられないが、現在では複雑な要因効果の解析に有用な実験計画法もあり、計算能力も非常に大きくなっているため、理想に近づくことは必ずしも不可能とは思われない。

本研究は、このような目的から、主として環境要因とノリの化学組成との関係を追求しようとするもので、本報は主に海水の種々の塩の濃度変化がノリに与える影響を実験したものである。

実験方法

実験材料 アサクサノリ *Porphyra tenera* は福岡県宗像郡津屋崎漁場産。この漁場は以前よりアサクサノリの種を維持してきた所である。

スサビノリ *P. yezoensis* は同郡神湊産と大島産の2種。

培養法 前報¹⁾と全く同一である。

培養液 津屋崎の戸過海水 ($d_{15}=1.0257$, 硝酸態, 亜硝酸態, アンモニア態窒素の総量 20~30 γ/l) を基本培養液とし、これに栄養塩類その他を各実験毎に定めて加え培養液とした。栄養塩類溶液と変更 pl-

Table 1. Design of the experiment I and II.

Experiment I: *Porphyra tenera*, Tsuyazaki Fukuokaken. 75 g of lavers per one tank were cultured from '68-2-3 to 2-13 at 3-5°C.

Experiment II: *P. yezoensis*, Kōnominato Fukuokaken. 100 g of lavers per one tank were cultured from '68-2-14 to 2-25 at 3-5°C.

Fundamental medium: Filtrated natural sea water of Tsuyazaki bay.

In both experiments, KNO_3 : 0.2 g, KH_2PO_4 : 0.01 g, $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$: 0.01 g per one litre have been added to the tanks of 1st level of nutritious salts on 5th day of the experiment.

Factors and marks	Level (Experiment I)		Level (Experiment II)		Column's number assigned in orthogonal array L_8
	1	2	1	2	
Na_2SiO_3 (Si)	Addn of Na_2SiO_3 soln ¹⁾ 1 ml/l of medium	0	21	0	1
Specific gravity of medium (d)	1.0257	1.0188	1.0257	1.0188	2
Nutritious salts (N)	Addn of soln 1 ²⁾ 5 ml/l of medium	0	5	0	4
	soln 2 ³⁾ 1 ml/l of medium	0	1	0	
Interaction					
Si $\times$ d					3
Si $\times$ N					5
d $\times$ N					6
Error (e)					7

1) Na_2SiO_3 solution: 0.1 g of SiO_3 per 1 litre of water.

2) Solution 1: EDTA·2Na: 5.4 g, KNO_3 : 40 g, KH_2PO_4 : 2 g, $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$: 2 g, boric acid: 0.2 g, $MnSO_4 \cdot 7H_2O$: 0.2 g, ferric citrate: 60 mg, KI: 20 mg, sodium molybdate: 4 mg, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$: 2 mg, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$: 2 mg, water: 1 l.

3) Solution 2: $CuSO_4 \cdot 5H_2O$: 2.5 mg, water: 1 l.

Table 2. Design of the experiment III.

P. yezoensis, Kōnominato Fukuokaken. 90 g of lavers per one tank were cultured from '68-3-27 to 4-4 at 12-14°C without supplement of nutritious salts as case of the experiment I and II.

Fundamental medium: Filtrated natural sea water of Tsuyazaki bay.

1 ml of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ solution (2.5 mg/l of water) to one litre of medium was added in all tank.

Factors and marks	Level			Column's number assigned in orthogonal array L_8
	1	2	3	
Na_2SiO_3 (Si)	Addn of Na_2SiO_3 soln ¹⁾ 0 ml/l of medium	0.67	1.33	1
Nutritious salts (N)	Addn of soln 1 ²⁾ 1.67 ml/l of medium	3.33	4.44	2
Error (e) (or Si × N)				3 and 4

1), 2): These solutions were same as Table 1.

Table 3. Design of the experiment IV and V.

Experiment IV: *P. tenera*, Tsuyazaki Fukuokaken. Living conditions of lavers used in 1st level have been far from perfect.

Experiment V: *P. yezoensis*, Ōshima Fukuokaken.

90 g of lavers per one tank were cultured in both experiments at 10-13°C.

Fundamental medium: Filtrated natural sea water (Tsuyazaki bay) in which 0.084 g of NaNO_3 to 1 litre were added.

Factors and marks	Level		Column's number assigned in orthogonal array L_8
	1	2	
Period for exper. (D)	from '69-2-27 to 3-3	'69-3 -9 3-13	1
Addn of KCl (K)	0 g/l of medium	0.6	2
Addn of modified pl-soln (M) ¹⁾	0 ml/l of medium	0.5	4
Addn of phosphate soln (P) ²⁾	0 ml/l of medium	1.0	7
Interaction			
P × M			3
K × M			6
Error (e)			5

1) Modified pl-solution: EDTA·2Na: 27 g, boric acid: 1.0 g, $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 1.0 g, ferric citrate: 0.3 g, KI: 0.1 g, sodium molybdate: 0.02 g, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0.01 g, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0.01 g, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: 6 mg, water: 0.5 l.

2) Phosphate solution: KH_2PO_4 : 2 g, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$: 2 g, water 1 l.

solution を、本報ではそれぞれ一因子として扱い、それらの組成は Table 1~3 にまとめた。

珪酸ソーダ溶液 シリカゲル (Mallinckrodt Chemical Works) を Na_2CO_3 と熔融後水に溶かし、稀塩酸で pH 8 とし、 SiO_2 0.1 g/l になるように希釈した液。

比重 比重は脱イオン水を加えて調整した。

実験配置 実験は I より V まで、それぞれ直交表を利用してわりつけた^{2,3)}。なお実験番号は、例えば実験 I-3 とあれば最初の数字は第 I の実験を、次の 3 はその実験に使用した直交表の第 3 行を意味する。

実験に取上げた因子と、2 因子間交互作用、それらの記号、および 5 組の実験のわりつけは Table 1~3 にまとめた。

サンプリング 培養を終ったノリは、汙過海水で 5 回、淡水 (実験 I~III は井水, IV と V は脱イオン水、各回ノリ 100 g に対して水 10 l 以上) で 2 回洗い、抄製して試料とした。

分析法^{4,5)} ノリを 105~110°C で乾燥、恒量としたものについて、以下述べる 14 成分を定量した。

Na, K, P, S 試料を濃硝酸と過塩素酸で湿式灰化し、炎光光度法により Na と K, GOMORI 法⁶⁾で P, BaSO₄ 比濁法⁷⁾で S を定量した。

全窒素 DUMAS 法 (柳本 N コーダー) により定量。

粗灰分, Si, Fe, Mn 試料を 450~500°C で灰化、秤量して粗灰分とする。この灰分を塩酸で脱硅酸し、他成分と汙別する。汙過残渣を汙紙と共にニッケルツボで灰化し、K₂CO₃ と溶融し、水にとかしてモリブデンブルー法により Si を定量した。汙液を定容とし、その一部をとつて、o-フェナントロリン法により Fe を定量、残り全部に濃硫酸と濃過酸化水素を加え、無水硫酸の白煙が出るまで濃縮して Cl⁻ を除いた後、水を少量加え過酸化銀法により Mn を定量⁸⁾した。

Mg, Ca 試料を 450~500°C で灰化、Mg+Ca は EBT 指示薬、Ca は NN 指示薬を用いて 0.005 M EDTA 溶液で滴定し、Mg と Ca を算出した。Fe その他に対する陰蔽剤としてトリエタノールアミンと KCN とを併用し、Ca の滴定の際にはさらに酒石酸⁹⁾を加えた。

糖類 ノリを構成する糖類を分別定量する方法はまだ確立されていないので、本実験では三輪¹⁰⁾、

JONES¹¹⁾ の報告に基づいて、1. 稀酸易溶性糖、2. 稀酸にとけず、稀アルカリに易溶性の糖、3. 酸・アルカリ高抵抗性の糖の三種に大別して定量することとした。比色には DUBOIS らのフェノール・硫酸法¹²⁾を用い、486 mμ の吸収から糖を算出した。

1. 稀酸易溶性糖 (ガラクトン) の定量条件: ノリ 100 mg を 0.1~4% 硫酸 500 ml で沸騰浴上で加熱し、30 分毎に一部取出して発色させた。硫酸の濃度と抽出時間と吸光度の関係を Fig. 1 に示す。この図より 2~0.02% 硫酸で攪拌しながら抽出すれば、30 分~2 時間まで吸光度はある一定値を示すが、この値は 2% 硫酸の場合が最大であつて、攪拌しない時と 4% 硫酸ではこのような一定値は不明瞭となることが認められる。また同じノリを 2% 硫酸、1 時間ずつ 2 回抽出した場合、1 回目と 2 回目の吸光度の比は 30:1 であつた。以上より、2% 硫酸で分解抽出する時、1~2 時間の間に現われる一定値を本報では稀酸易溶性糖、ガラクトン、として、定量法を次のように定めた。ノリ約 100 mg を恒量とし、2% 硫酸 200 ml, 100°C,

Fig. 1. Extraction curve of galactan from lavers.

Method: 100 mg of material were extracted with 500 ml of H₂SO₄ solution in a boiling water bath, a portion of the extract was taken out every 0.5 hr and was assayed with phenol-sulfuric acid method.

1...4% H₂SO₄ (stirring), 2...2% (stirring),
3...1% (without stirring), 4...0.1% (without stirring), 5...0.02% (stirring).

Fig. 2. Degradation curve of mannan-b from lavers.

Method: The residue obtained after extracting galactan and mannan-a from 100 mg of lavers was hydrolyzed with H₂SO₄ solution in a boiling water bath, a portion of the hydrolyzate was taken out every 1 hr and was assayed with phenol-sulfuric acid method.

1...4 hr, 2...3 hr, 3...2 hr, 4...1.5 hr, 5...1 hr.

要糖であり、その外キシロースが存在することを認めた。この画分は JONES¹¹⁾ の取出したマンナンに大体相当すると考えられる。硫酸濃度と加水分解時間と吸光度との関係を Fig. 2 に示す。この図で 20% 硫酸を用いれば、100°C、2 時間で糖の分解抽出はほぼ最大となるが、2 時間以後の増加は小さいので省略し、マンナン-b の定量条件を、ガラクトタンとマンナン-a を除いた残渣を 20% 硫酸、100°C 2 時間分解し、50 ml 定容とし、マンノースとして定量することに定めた。

結果とその解析

化学分析の結果は Table 4~8 にまとめた。表示は 105~110°C 乾燥物に対する % である。結果の解析は、実験計画法²⁾に従って、各因子の効果と交互作用の算出および分散分析を行ない、別に β (後述) を算出してこれらを Table 9~13 にまとめた。その表示は 3 水準の実験 III を除き、実験全体の平均値 m 、ある因子 A の主効果はその因子の第 1 水準の効果 a_1 、2 因子交互作用 I は I_{11} を示してある。第 2 水準の効果 a_2 は $a_1 = -a_2$ 、2 因子交互作用については $I_{11} = -I_{12} = -I_{21} = I_{22}$ 、また任意の水準を組合せた場合の推定平均値は $m + a_i + \dots + I_{ij} + \dots$ によって求められる。実験 III は平均値 m と 3 水準それぞれの主効果を、交互作用のみは $(\sum I_{ij})/n$ (n は実験数、ここでは 9) を示した。 I_{ij} を求めるには、Table 6 の測定値を y_{ij} として $I_{ij} = y_{ij} - m - a_i - b_j$ (a, b は交絡している 2 因子) で求められる。

分散分析の結果は、初めにわりつけた誤差の列を含めてプールした場合は * で、初めにわりつけた誤差の列を含まないで他の列より誤差を選んで分散分析した場合は # で表わし、* (#): $\alpha = 5\%$, ** (##): $\alpha = 1\%$, *** (###): $\alpha = 0.5\%$ でそれぞれ有意であることを示す。

β 直交表 L_8 や L_9 を用いた実験では、誤差分散の自由度が少なすぎるが多いし、効果のみを表

1 時間で 2 回抽出し、抽出液は合して 500 ml 定容とし、これよりガラクトースとして定量する。この画分には紅藻澱粉、フロリドシド、ポルフィランより由来する糖が含まれるが、ガラクトースが量的に最大であるのでガラクトース換算とした。

2. 稀酸不溶・稀アルカリ可溶性糖 (マンナン-a) の定量条件: ガラクトタン抽出残渣を 5% 苛性ソーダで室温、24 時間、2 回抽出した液は、加水分解によつてマンノース、ガラクトース、キシロースが認められるが、マンノースが量的に最大である。また同じノリを同一条件で 2 回抽出した時、1 回目と 2 回目の吸光度の比は 30:1 であった。以上より、ガラクトタン抽出残渣より 5% NaOH、室温で抽出される糖を本報ではマンナン-a として、抽出条件は 5% NaOH、室温、24 時間 2 回とし、抽出液を合して 200 ml 定容とし、マンノースとして定量することとした。

3. 酸・アルカリ高抵抗性糖 (マンナン-b) の定量条件: 上記 マンナン-a 抽出残渣を硫酸で加水分解して得られる糖の定量値の最大のもをマンナン-b とした。5% NaOH 抽出残渣を硫酸で分解した液はマンノースが主

Table 4. Analytical data of lavers cultured in the experiment I
(percentage to material dried at 105-110°C).

	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	P
I-1	0.560	7.24	0.230	0.672	12.14×10^{-8}	4.47×10^{-8}	0.732
2	0.646	6.00	0.282	0.813	8.28	3.30	0.448
3	0.483	6.93	0.260	0.686	9.88	4.71	0.761
4	0.634	5.98	0.217	0.923	10.10	3.21	0.470
5	0.531	7.36	0.210	0.715	12.06	4.31	0.739
6	0.609	6.22	0.227	0.862	9.29	3.08	0.457
7	0.483	7.20	0.266	0.742	9.46	4.99	0.703
8	0.639	5.65	0.225	0.910	9.00	3.40	0.464

	S	Si	Crude Ash	Total Nitrogen	Galactan	Mannan-a	Mannan-b
I-1	2.44	14.1×10^{-8}	18.3	6.55	40.4	9.48	2.54
2	2.65	12.3	16.8	4.66	49.2	8.74	6.78
3	2.54	7.4	17.7	6.38	44.2	8.06	4.80
4	2.79	9.4	16.7	3.68	49.0	10.01	5.23
5	2.56	11.8	19.0	6.62	39.1	7.78	4.60
6	2.62	10.4	17.1	3.26	50.9	10.39	4.93
7	2.59	17.1	18.4	6.30	41.7	9.04	3.80
8	2.67	13.1	16.2	3.28	50.2	9.39	5.72

Table 5. Analytical data of lavers cultured in the experiment II
(percentage to material dried at 105-110°C).

	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	P
II-1	0.383	4.54	0.211	0.816	8.33×10^{-8}	4.10×10^{-8}	0.655
2	0.483	4.42	0.217	0.847	7.52	3.25	0.345
3	0.350	4.49	0.211	0.837	8.18	4.40	0.684
4	0.395	4.10	0.241	0.840	11.07	3.20	0.374
5	0.355	5.07	0.242	0.740	7.86	4.81	0.652
6	0.416	4.52	0.250	0.771	7.73	3.09	0.371
7	0.377	4.27	0.225	0.823	6.98	4.77	0.675
8	0.399	3.94	0.183	0.934	7.81	3.21	0.374

	S	Si	Crude Ash	Total Nitrogen	Galactan	Mannan-a	Mannan-b
II-1	2.53	20.4×10^{-8}	14.5	5.87	43.3	7.44	2.69
2	2.39	11.8	13.9	3.53	57.6	7.46	3.78
3	2.42	15.9	14.2	5.99	46.6	7.11	3.52
4	2.49	21.8	13.5	3.90	54.4	7.54	3.01
5	2.37	19.0	16.0	6.33	45.2	8.36	1.44
6	2.53	12.9	14.7	3.87	53.7	7.19	3.80
7	2.67	12.8	14.5	6.00	46.4	7.05	3.22
8	2.54	10.6	13.6	3.95	56.1	7.12	3.98

Table 6. Analytical data of lavers cultured in the experiment III
(percentage to material dried at 105-110°C).

	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	P
III-1	0.376	5.31	0.269	0.390	14.1×10^{-3}	5.45×10^{-3}	0.684
2	0.505	4.67	0.268	0.642	16.1	4.71	0.687
3	0.368	5.52	0.275	0.549	14.5	5.99	0.678
4	0.431	5.47	0.232	0.641	14.8	7.29	0.675
5	0.395	5.26	0.259	0.614	15.8	6.20	0.652
6	0.361	5.45	0.250	0.578	14.1	5.46	0.675
7	0.423	5.30	0.270	0.544	13.9	5.48	0.649
8	0.427	5.51	0.271	0.568	13.9	5.03	0.703
9	0.360	5.33	0.190	0.719	13.9	5.70	0.707

	S	Si	Crude Ash	Total Nitrogen	Galactan	Mannan-a	Mannan-b
III-1	2.41	23.6×10^{-3}	18.1	6.40	38.4	8.90	3.08
2	2.26	19.1	15.2	5.90	41.5	8.92	2.85
3	2.17	25.3	18.1	6.36	38.6	8.74	3.06
4	2.26	28.0	17.6	6.34	39.1	8.67	2.74
5	2.08	36.3	18.5	6.23	41.3	7.98	3.52
6	2.15	31.4	18.0	6.35	38.9	7.69	3.87
7	2.38	33.1	17.6	6.27	38.7	8.14	4.08
8	2.06	24.4	17.7	6.20	40.4	7.50	4.18
9	2.33	18.1	18.0	6.17	40.7	6.83	3.99

Table 7. Analytical data of lavers cultured in the experiment IV
(percentage to material dried at 105-110°C).

	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	P
IV-1	0.448	1.77	0.484	0.252	13.0×10^{-3}	2.40×10^{-3}	0.333
2	0.503	2.15	0.512	0.237	12.6	3.31	0.627
3	0.436	1.80	0.480	0.238	14.0	1.86	0.618
4	0.465	2.20	0.454	0.251	13.2	3.81	0.587
5	0.323	3.97	0.364	0.239	9.38	4.50	0.726
6	0.387	3.90	0.379	0.247	10.3	3.69	0.519
7	0.409	4.46	0.364	0.228	9.15	3.82	0.535
8	0.353	4.11	0.359	0.233	9.55	4.61	0.681

	S	Si	Crude Ash	Total Nitrogen	Galactan	Mannan-a	Mannan-b
IV-1	2.63	14.46×10^{-3}	7.89	5.10	46.2	11.04	2.45
2	2.66	7.44	8.87	5.27	45.3	10.40	3.09
3	2.62	8.85	7.88	5.02	47.0	10.25	3.66
4	2.75	17.70	9.14	5.04	44.7	9.50	3.92
5	2.57	17.63	15.06	6.07	40.5	9.75	0.96
6	2.26	12.37	14.42	6.02	41.7	9.51	1.36
7	2.48	8.15	15.98	6.21	39.4	8.82	1.33
8	2.56	8.70	16.56	6.15	40.6	8.97	1.34

Table 8. Analytical data of lavers cultured in the experiment V
(percentage to material dried at 105-110°C).

	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	P
V-1	0.334	3.62	0.391	0.207	11.3×10^{-3}	3.35×10^{-3}	0.401
2	0.320	4.03	0.394	0.206	11.8	4.32	0.596
3	0.336	4.20	0.379	0.200	11.0	3.58	0.552
4	0.321	4.24	0.375	0.204	10.8	3.55	0.401
5	0.519	4.50	0.386	0.210	11.8	3.46	0.628
6	0.407	4.15	0.389	0.201	17.7	3.84	0.447
7	0.271	3.95	0.377	0.214	12.2	3.82	0.453
8	0.317	4.13	0.365	0.218	12.0	4.06	0.606

	S	Si	Crude Ash	Total Nitrogen	Galactan	Mannan-a	Mannan-b
V-1	2.31	20.8×10^{-3}	13.8	5.84	44.7	8.69	1.086
2	2.37	13.0	15.0	5.90	42.7	8.56	0.918
3	2.35	18.1	15.1	5.82	42.8	9.51	0.594
4	2.29	11.9	15.2	5.72	42.7	8.87	0.703
5	2.28	23.4	16.0	5.86	41.6	9.92	0.674
6	2.23	20.5	15.1	5.71	42.5	10.38	0.487
7	2.15	16.3	14.8	5.73	43.5	10.18	0.747
8	2.18	27.1	15.2	5.86	42.5	10.02	0.936

示したのでは水準間の差が平均に対してどれ位あるのかもわかりにくい。この点を補うため以下述べる β を併用した。

今ある因子 A の影響を求めるため n 水準の実験を行なつたとし、この実験の誤差の限界を ϵ 、 i 水準の測定値を A_i 、その真値を A_{i0} 、実験全体の平均を m 、 A_i の偏差を θ_i 、この実験の平均偏差を θ とすると、

$$A_{i0} - \epsilon \leq A_i \leq A_{i0} + \epsilon \quad (1)$$

$n^{-1} \sum A_{i0} = m_0$ とし、これと m との関係を求めると、(1) より

$$n^{-1} \sum (A_{i0} - \epsilon) \leq n^{-1} \sum A_i \leq n^{-1} \sum (A_{i0} + \epsilon) \quad (2)$$

ゆえに $m_0 - \epsilon \leq m \leq m_0 + \epsilon$

もし実験した因子は実験に影響しなかつたとすると A_{i0} はすべて等しくなるから

$$m_0 = A_{i0} \quad (3)$$

(1) より (2) を減じて (3) を代すると

$$-2\epsilon \leq \theta_i \leq 2\epsilon$$

ゆえに

$$|\theta_i| \leq 2\epsilon$$

実験全体については

$$\theta = n^{-1} \sum |\theta_i| \leq 2\epsilon \quad (4)$$

$100\theta/m$ 、 $100\epsilon/m$ をそれぞれ β 、 e とすると (4) は

$$\beta \leq 2e \quad (5)$$

ゆえに (5) の対偶をとつて、もし $\beta > 2e$ ならばその因子は実験に影響することが期待できる。本報の実験では、 A_i の代りに各水準の推定平均値、 θ_i の代りに i 水準の効果、 m を、その因子の効果を推定するのに用いた実験全体の平均値とすればよい。 e をどの位に見積るかは個々の実験について定めねばならない。

Table 9. Main effects (1st level) of the factors and interactions (I_{11}) between two factors in the experiment I, their significances and their β .

Components and means m.	Main effects (1st level)						Interactions (I_{11})					
	Si (additional)	Sign. β	d (1.0257)	Sign. β	N (additional)	Sign. β	Si $\times$ d	Sign. β	Si $\times$ N	Sign. β	N $\times$ d	Sign. β
Na 0.5731	0.0079	*	0.0139	**	-0.0591	***	0.0089	*	-0.0004		0.0179	***
		1.4		2.4		10.3		1.6		0.07		3.1
K 6.572	-0.032	0.4	0.138	2.1	0.608	***	-0.029	0.4	-0.062	0.9	-0.015	0.2
Mg 0.2396	0.0077	3.2	-0.0071	3.0	0.0019	0.8	0.0112	#	-0.0041	1.7	-0.0191	####
								4.7				8.0
Ca 0.7904	-0.0169	2.1	-0.0249	3.2	-0.0866	***	-0.0061	0.8	-0.0079	1.0	0.0146	1.8
Fe 10.03×10^{-3}	0.07×10^{-3}	0.7	0.47	4.6	0.87	*	-0.31	3.1	0.04	0.4	0.79	*
Mn 3.933×10^{-9}	-0.013×10^{-3}	0.3	-0.143	***	0.686	***	0.107	***	-0.018	0.4	-0.085	**
				3.6		17.4		2.7				2.1
P 0.5966	0.0077	1.3	-0.0019	0.3	0.1388	***	-0.0099	1.7	0.0067	1.1	0.0045	0.8
						23.2						
S 2.608	-0.004	0.2	-0.041	**	-0.074	***	-0.021	*	-0.039	**	0.006	0.2
				1.6		2.8		0.8		1.5		
Si 11.97×10^{-3}	-1.12×10^{-3}	#	0.19	1.6	0.65	5.5	2.18	###	-0.70	5.8	0.15	1.3
		9.3						18.2				
Crude Ash 17.52	-0.12	0.6	0.28	*	0.88	***	0.10	0.6	-0.20	1.1	0.03	0.2
				1.6		5.0						
Total Nitrogen 5.091	0.229	4.5	0.179	3.5	1.369	***	0.106	2.1	-0.224	4.4	-0.059	1.2
						26.8						
Galactan 45.58	-0.12	0.3	-0.68	*	-4.13	***	-0.21	0.5	0.84	*	-0.91	**
				1.5		9.2				1.8		2.0
Mannan-a 9.122	-0.052	0.5	-0.002	0.02	-0.512	###	0.040	0.4	0.208	#	0.065	0.7
						5.6				2.2		
Mannan-b 4.800	0.040	0.8	-0.090	1.9	-0.860	###	-0.090	1.9	-0.302	#	-0.277	#
						17.9				6.3		5.8

Marks of the factors: See Table 1.

$\beta = 100 \theta / m$ θ : Mean deviation, m: mean value of all experiments used for analysis.

*, **, ***: Significant at $\alpha = 5\%$, 1% , 0.5% respectively.

#, ##, ###: Significant at $\alpha = 5\%$, 1% , 0.5% respectively, where errors were selected from columns without 7th on the L_8 and pooled.

Main effects, interactions and m: Percentage to the dried material.

Table 10. Main effects (1st level) of the factors and interactions (I_{11}) between two factors in the experiment II, their significances and their β .

Components and means m.	Main effects (1st level)						Interactions (I_{11})					
	Si (additional)	Sign. β	d (1.0257)	Sign. β	N (additional)	Sign. β	Si $\times$ d	Sign. β	Si $\times$ N	Sign. β	N $\times$ d	Sign. β
Na 0.3948	0.0082	2.1	0.0142	3.6	-0.0288	*	0.0157	4.0	-0.0078	2.0	-0.0118	3.0
K 4.419	-0.029	0.7	0.221	**	0.171	*	-0.108	*	-0.028	0.6	0.012	0.3
Mg 0.2225	-0.0025	1.1	0.0075	3.4	-0.0003	0.1	-0.0135	#	-0.0088	#	-0.0033	1.5
Ca 0.8260	0.0090	1.1	-0.0325	*	0.0300	3.6	0.0290	3.5	0.0135	1.6	0.0065	0.8
Fe 8.19×10^{-3}	0.59×10^{-3}	7.2	0.33	4.0	-0.35	4.3	-0.53	6.5	-0.18	2.1	0.57	7.0
Mn 3.854×10^{-3}	-0.117×10^{-3}	*	-0.042	1.1	0.666	***	-0.018	0.5	-0.150	*	-0.020	0.5
P 0.5163	-0.0016	0.3	-0.0112	*	0.1519	***	-0.0042	0.8	0.0048	0.9	-0.0026	0.5
S 2.493	-0.036	1.4	-0.039	1.6	0.008	0.3	0.041	1.6	-0.014	0.6	-0.009	0.4
Si 15.65×10^{-3}	1.86×10^{-3}	11.7	0.39	2.5	1.39	9.0	-1.74	11.0	-0.68	4.3	2.29	14.7
Crude Ash 14.36	-0.36	*	0.44	*	0.44	*	-0.24	1.7	-0.11	0.8	0.04	0.3
Total Nitrogen 4.930	-0.110	*	-0.030	0.6	1.120	***	-0.093	1.9	-0.010	0.2	0.082	*
Galactan 50.41	0.09	0.2	-0.41	0.8	-5.00	***	0.44	0.9	-0.49	1.0	-0.66	1.3
Mannan-a 7.408	-0.018	0.2	0.202	2.7	0.082	1.1	-0.141	1.9	-0.193	2.6	0.207	2.8
Mannan-b 3.180	0.070	2.2	-0.250	*	-0.460	*	0.227	7.1	0.317	*	-0.400	*
				7.8		14.4				10.0		12.6

Marks: See Table 1 and 9.

Table 11. Main effects (each level) of the factors and interactions ($n^{-1}\sum|I_{ij}|$) between two factors in the experiment III, their significances and β .

Components and means m.	Main effects (each level)				Interactions ¹⁾ ($n^{-1}\sum I_{ij} $)	
	Si	Sign. β	N	Sign. β	Si $\times$ N	Sign. β
Na 0.4051	0.0112 -0.0095 -0.0018	1.9	0.0049 0.0372 -0.0421	6.9	0.0231	5.7
K 5.313	-0.147 0.082 0.067	1.9	0.047 -0.167 0.120	2.1	0.153	2.9
Mg 0.2538	0.0169 -0.0068 -0.0102	4.5	0.0032 0.0122 -0.0155	4.1	0.0170	6.7
Ca 0.5827	-0.0557 0.0283 0.0276	6.4	-0.0577 0.0253 0.0326	6.6	0.0564	9.7
Fe 14.56 $\times 10^{-3}$	0.34 $\times 10^{-3}$ 0.34 -0.66	3.1	-0.30 0.70 -0.40	3.2	0.36	2.4
Mn 5.701 $\times 10^{-3}$	-0.318 $\times 10^{-3}$ 0.615 -0.298	7.2	0.372 -0.388 0.015	4.5	0.391	6.9
P 0.6820	0.0042 -0.0118 0.0074	1.1	-0.0096 0.0022 0.0074	0.9	0.0128	1.9
S 2.234	0.047 -0.070 0.023	2.1	0.116 -0.099 -0.017	3.5	0.047	2.1
Si 26.58 $\times 10^{-3}$	-3.91 $\times 10^{-3}$ 5.31 -1.39	13.3	1.66 0.02 -1.67	4.2	3.56	13.3
Crude Ash 17.64	-0.51 0.39 0.12	1.9	0.12 -0.51 0.39	1.9	0.63	3.6
Total Nitrogen 6.246	-0.026 0.060 -0.033	0.6	0.090 -0.136 0.047	1.5	0.081	1.3
Galactan 39.73	-0.23 0.03 0.20	0.4	-1.00 1.33 -0.33	*	0.51	1.3
Mannan-a 8.152	0.701 -0.039 -0.662	*	0.418 -0.019 -0.399	3.4	0.171	2.1
Mannan-b 3.485	-0.489 -0.109 0.598	11.4	-0.185 0.031 0.155	3.5	0.215	6.2

Marks: See Table 2 and 9.

Main effects: Downward 1st, 2nd and 3rd level.

1) These interactions have been calculated, where the errors assigned on column 3 and 4 of L_9 were replaced by Si $\times$ N.

Table 12. Main effects (1st level) of the factors and interactions (I_{11}) between two factors in the experiment IV, their significances and their β .

Components and means m.	Main effects (1st level)								Interactions (I_{11})				Interactions (I_{11}) ¹⁾	
	D (early)	Sign. β	K (none)	Sign. β	M (none)	Sign. β	P (none)	Sign. β	M × P	Sign. β	M × K	Sign. β	D × M or K × P	Sign. β
Na 0.4155	0.0475	** 11.4	-0.0003		-0.0115		0.0118		0.0127		-0.0228		-0.0095	
K 3.045	-1.065	** 34.9	-0.098		-0.045		0.038		0.078		-0.033		-0.150	
Mg 0.4245	0.0580	*** 13.6	0.0102	*	-0.0015		-0.0043		0.0052		-0.0093	*	0.0010	
Ca 0.2406	0.0039		0.0031		-0.0014		0.0039		-0.0031		0.0031		0.0019	
Fe 11.40×10^{-3}	1.80×10^{-3}	*** 15.7	-0.08		-0.03		0.00		-0.33		-0.10		0.33	
Mn 3.500×10^{-3}	-0.655 $\times 10^{-3}$	#### 18.7	-0.025		-0.355	###	-0.070		0.035		0.330	##	-0.360	###
P 0.5781	-0.0368		-0.0272		-0.0256		-0.0847	*	-0.0345		0.0042		-0.0409	
S 2.566	0.097	*# 3.7	-0.039		0.007		-0.038		0.013		0.058	#	-0.051	#
Si 11.92×10^{-3}	0.20×10^{-3}		1.06		0.36		1.25		-2.22	*	2.71	*	-0.82	
Crude Ash 11.98	-3.53	*** 29.0	-0.42		-0.27		-0.12		0.35		0.19		-0.29	
Total Nitrogen 5.610	-0.503	*** 8.9	-0.005		-0.010		-0.018		0.073		-0.020		-0.038	
Galactan 43.18	2.63	*** 6.0	0.25		0.10		-0.18		-0.30		-0.18		0.70	
Mannan-a 9.783	0.515	#### 5.2	0.395	####	0.183	#	-0.063		0.028		0.035		0.165	#
Mannan-b 2.264	1.016	*** 44.8	-0.299	*	-0.164	*	0.001		-0.211	*	-0.096		-0.061	
				13.1		7.2		0.05		9.3		4.2		2.7

Marks: See Table 3 and 9.

1) These interactions have been calculated, where the error assigned on column 5 of L_8 was replaced by $D \times M$ or $K \times P$.

Table 13. Main effects (1st level) of the factors and interactions (I_{11}) between two factors in the experiment V, their significances and their β .

Components and means m.	Main effects (1st level)								Interactions (I_{11})				Interactions (I_{11}) ¹⁾	
	D (early)	Sign. β	K (none)	Sign. β	M (none)	Sign. β	P (none)	Sign. β	M $\times$ P	Sign. β	M $\times$ K	Sign. β	D $\times$ M or K $\times$ P	Sign. β
Na 0.3531	-0.0254	7.1	0.0419	11.9	0.0119	3.3	-0.0199	5.6	-0.0426	12.1	0.0196	5.5	-0.0073	2.0
K 4.103	-0.080	1.9	-0.028	0.6	-0.035	0.8	-0.113	# 2.7	-0.170	*** 4.1	0.020	0.4	-0.078	1.8
Mg 0.3820	0.0027	*	0.0080	*** 2.0	0.0012	0.3	0.0010	0.2	-0.0003	0.07	-0.0028	*	-0.0010	0.2
Ca 0.2075	-0.0033	1.5	-0.0015	0.7	0.0002	0.09	-0.0010	0.4	0.0037	*	0.0022	1.0	-0.0010	0.4
Fe 12.32×10^{-3}	-1.10×10^{-3}	8.9	0.83	6.6	0.10	0.8	0.68	5.4	-0.50	4.0	-0.85	6.8	0.68	5.4
Mn 3.748×10^{-3}	-0.048×10^{-3}	1.2	-0.005	0.1	-0.195	5.2	-0.108	2.8	0.140	# 3.7	0.143	# 3.8	-0.143	# 3.8
P 0.5100	-0.0233	** 4.5	0.0074	1.4	-0.0016	0.3	-0.0847	*** 16.6	0.0032	0.6	-0.0026	0.4	-0.0090	1.7
S 2.271	0.060	*** 2.6	0.036	* 1.5	0.004	0.1	-0.026	* 1.1	-0.017	0.7	-0.004	0.2	-0.002	0.09
Si 18.90×10^{-3}	-2.94×10^{-3}	# 15.5	0.54	2.8	0.76	4.0	-1.52	8.0	0.41	2.1	1.90	# 10.0	2.75	# 14.5
Crude Ash 15.03	-0.25	# 1.6	-0.08	0.4	-0.10	0.6	-0.30	# 1.9	-0.33	# 2.1	0.03	0.1	-0.23	# 1.4
Total Nitrogen 5.805	0.015	0.2	0.022	0.3	0.008	0.1	-0.055	0.9	0.027	0.4	0.015	0.2	0.003	0.04
Galactan 42.88	0.35	0.8	0.00	0.0	0.28	0.6	0.48	1.1	0.48	1.1	0.00	0.0	0.25	0.5
Mannan-a 9.516	-0.608	*** 6.4	-0.128	1.3	0.059	0.6	0.014	0.1	-0.153	1.6	-0.141	1.4	0.134	1.4
Mannan-b 0.7681	0.0571	7.4	0.0231	3.0	0.0072	0.9	-0.0123	1.6	0.1536	#### 20.0	0.0816	# 10.6	-0.0764	# 9.8

Marks: See Table 3 and 9.

1) These interactions have been calculated, where the error assigned on column 5 of L_8 was replaced by D $\times$ M or K $\times$ P.

考 察

実験結果を考察するに当つて、効果の意味を平均値からの偏差と定め、その大小の比較は β の比較で表現するものと定める。またある因子の影響を何回か実験した場合、得られた効果の方向がすべて同一で、かつ分散分析上小さい危険率で有意である程、また β が大きい程その影響は確かなものであると原則的に考えることとし、有意であつても、また β がある一つの実験でのみ大きくとも、効果の方向が実験によつて異なるような時は、必ずしも確かな影響があるとは考えない。なお交互作用は Table 1~3 に記載した記号で示す。

Na と K 炎光光度法の精度はやや劣ることと、Na には汚染の危険が比較的大きいことより、Na は $\beta > 8$, K は $\beta > 5$ を有意であると考えるのが適当であろう。

Na 含量に大きく影響する因子として、アサクサノリとスサビノリに共通して β が大きい因子を選び出すと、栄養塩類と実験時期である。栄養塩類の効果は実験 I~III より、栄養塩類が多いと Na 含量が減少するようにあらわれている。これは前報¹⁾の実験でも同様であつた。この栄養塩類は、変更 pl-solution にリン酸塩と KNO_3 とを加えたものであるが、実験 IV と V からは変更 pl-solution とリン酸塩は Na 含量に大きく影響するとは判断し得ない。ゆえに栄養塩類中最も影響の大きいのは本報の実験では硝酸イオンであつて、天然では海水中の窒素総量が多ければ Na 含量は減少すると考えてよいようである。

栄養塩類に次いで大きな効果は実験時期であるが、効果の方向は実験 IV と V とで互に逆になっている。ここで注意を要するのは、実験 IV の第 1 水準で使つたアサクサノリは、外観的に非常に栄養状態が悪く、生活力が弱つていたと考えられるのに対して、第 2 水準で使つたものと実験 V のスサビノリの両水準は大体普通の状態であつたことである。ゆえに実験時期の効果が両実験共にこの因子によるものとする、同一の周囲条件下で実験しても、その時のノリの状態によつて Na 含量の変化は異なつてくることが考えられる。

KCl と交互作用 $M \times P$ は、実験 V のみ大きな効果を示しているが、アサクサノリでは効果は小さく、かつ方向も逆である。このことがノリの種の差によるのかどうかは論じ難い。

K の含量変化のうちで比較的大きなものは栄養塩類と実験時期の効果であるが、前者については Na の場合と同様に考えて、硝酸塩が多いと K 含量は増加すると考えられる。実験時期の効果についても使つたアサクサノリの栄養状態の差によると考えられる。K の含量変化は全実験を通じて比較的小さく、かつ効果の方向もアサクサノリとスサビノリとで大体一致しているから、両種の間に影響の受け方に大きな差はないものと思われる。

Mg と Ca ノリにはリンが多いので、Ca の滴定誤差は大きくなりやすい。従つて Mg にも同程度の誤差を生じてくる。これを 4~5% とすると、少なくとも $\beta > 8$ を見込む必要があろう。

Mg の変化は、実験時期の効果以外は小さく、一応誤差範囲とみなし得る。実験時期による差は、アサクサノリにのみ顕著に出ているので、Na の所で論じたようにアサクサノリの栄養状態の差によるものであろう。

Ca は、スサビノリの場合全般に変化は小さい。実験 III の交互作用 $Si \times N$ のみは $\beta > 8$ であるが、実験 I と II では $Si \times N$ は小さな効果しか現われていないので有意と考えなくてもよいであろう。これとは異なつてアサクサノリの場合、栄養塩類の影響が大きいのに Mg とは逆に実験時期による効果が小さい。これがアサクサノリの特徴かどうかは論じ難いが、一つの問題点であろう。

なお実験 I~III では Mg と Ca の平均含量は $Mg < Ca$ であり、実験 IV と V では $Mg > Ca$ である。これはノリを抄製する時使用した水が、前者は井水で後者は脱イオン水であつたため、このようになったと考えられる。

Fe Fe は操作途上における汚染の危険が大きい成分であるので、 β をどれ位に見積るか定め難いが、 $\beta > 7$ を有意と仮定してみる。

Fe にはアサクサノリとスサビノリに共通した大きな効果は、交互作用 $d \times N$ 以外には現われていない。

次の Mn と異なつて、実験 I と II では栄養塩類の効果は方向が逆であり、かつ実験 IV, V で変更 pl-solution の効果が小さい。ゆえに Fe は海水の比重によつて栄養塩類の影響が異なるが、全体に大きな影響は受けないと考えられる。実験時期による差は実験 IV で大きく現われているが、アサクサノリの栄養状態の差によるものであろう。

Mn 分析精度はよく、汚染も十分小さいと認められる。従つて $\beta > 4$ を有意としてよいと考えられる。

実験 III を除いて、栄養塩類と変更 pl-solution の効果が大きく、しかも実験 IV と V からリン酸塩の影響は小さく、実験 I と II それぞれの Mn の平均値は実験 IV と V のそれとあまり変わらないから、Mn の含量は海水中の微量元素類、恐らく Mn イオン濃度によつて大きな影響を受け、また実験 III に現われた栄養塩類の効果から、ノリの Mn 含量を最大にする培養液の Mn 濃度は、この実験の第 1 水準、すなわち 0.066 mg/l で十分であり、さらに天然海水中の Mn 濃度はノリにとつて必ずしも十分な濃度ではないと考えられる。

実験 IV で実験時期による効果が大きいのは、Na の項で述べたように、アサクサノリの栄養状態の差によるものであろう。また同じ実験で誤差をわたりつけた 5 列に大きな効果がみられるが、この列には D×M と K×P の 2 つの交互作用が現われるので、恐らくこのいずれかによるものと思われる。同様に M×K も両種のノリに共通して大きいから、ノリに対する海水中の Mn の影響は K の濃度によつても多少異なることが考えられる。

P この分析精度はかなりよく、汚染もまず考えられない。従つて $\beta > 4$ ならば有意と考えてよい。

P に関して現われた効果は、実験 I と II では栄養塩類、実験 IV, V ではリン酸塩添加の影響が非常に大きい、変更 pl-solution の影響は小さいと考えられる。ゆえにノリの P 含量を定める最大の因子は海水中のリン酸塩の濃度であり、P 含量を最大にするに必要な海水のリン酸塩濃度は、実験 III よりその第 1 水準すなわち P として 1.02 mg/l で十分である。

次に大きな影響のあるのは実験時期の差であるが、これは陽イオンの場合とは異なり、スサビノリにもかなり大きな効果があり、しかもアサクサノリと同じ方向である。従つて実験時期の効果は、アサクサノリの場合には栄養状態の差による影響もあるであろうが、その外両方に共通した要因として培養時の温度の差異、あるいは光の相異が考えられる。光に関しては、照射時間が長い方が P の含量が多くなることは前報¹⁾で推測された所であるので、上記効果も少なくとも一部は光の影響と考えられる。

S 本報で用いた S の分析精度は、P の場合程よくはないので、 $\beta > 5$ を有意と考える。

S 含量の変化は特長があつて、ほとんどの因子について効果が小さい。また平均値も実験 I より V まで大体一定している。従つて前報¹⁾でも推論したように、ノリの S は比較的外界の影響を受け難い成分であると考えられる。しかし実験 IV と V では、実験時期の効果は比較的大きく方向も同じであり、分散分析上も有意であるので、ノリ葉体の老化等本報で取上げなかつた因子から、かなりの影響を受けるものと考えられる。

Si Si は比色法自体の精度は悪くないが、非常に汚染を受けやすい成分であつて、 β をどれ位に見積るか簡単には定め難いが、少なくとも $\beta > 10$ 位には見積る必要があるように思われる。

アサクサノリとスサビノリと共通して効果の大きいものは、実験 IV と V における交互作用 M×K であるので、Si 含量は海水中の微量元素と K 濃度の組合せで左右されることが推測できる。

粗灰分 分析精度は 2~3% と考えられ、 $\beta > 5$ を有意としてよいであろう。

実験 I と II より、栄養塩類は灰分を多少増加するように働らくと思われ、この時の灰分増加は主に K と P の増加である。

高比重と KCl 添加も灰分をやや増加するように見受けられる。

実験 IV で実験時期に大きな効果がでているが、Table 7 の粗灰分の列において IV-1~4、すなわち実験時期第 1 水準では灰分が異常に少ないことから知られるように、この効果は第 1 水準のアサクサノリの栄養状態によつておこつたものである。この効果以外は全般的に灰分の変化は小さい。

全窒素 分析精度は非常によく、 $\beta > 3$ を有意と考える。

実験 I と II では栄養塩類の効果が非常に大きい、実験 IV と V では変更 pl-solution、リン酸塩、KCl の効果は小さいので、ノリの全窒素は海水中の硝酸イオン濃度によって大きく左右され、全窒素量を最大にする海水中の窒素濃度は、実験 III よりその第 1 水準すなわち窒素 9.3 mg/l で十分と考えられ、海水中の窒素源の増加によるノリ全窒素の増加は、実験 III またはそれに近い条件下ではほぼ 6.5% が限度であろう。

実験 IV で実験時期の効果が大きいのは、第 1 水準のアサクサノリの栄養状態が悪く、窒素の吸収固定力が小さくなっていたものと考えられる。

糖類 フェノール・硫酸法の精度は 1~2% と言われるが、分解抽出操作における誤差が順次大きくなることを考慮せねばならない。ここではガラクトタンで $\beta > 4$ を有意であるとする。

ガラクトタン 実験 I と II から、ガラクトタン含量に最も影響する因子は栄養塩類であり、全窒素の場合と同様に考えてその主要因は硝酸塩であると考えられる。各因子の中でガラクトタンに対する効果の大きいものを取り出すと、実験 I の栄養塩類の効果 -4.13、実験 II の同効果 -5.00、実験 IV の実験時期の効果 2.63 であり、これに対応する全窒素の変化を粗蛋白に換算すると、同じ順に 8.56, 7.00, -3.14 である(係数 6.25)。これよりガラクトタンと粗蛋白は互に補うように変化することがわかる。すなわちこの両者の和はほぼ一定と考えられ、このことは Table 4~8 において、各実験番号毎に粗蛋白と 3 種の糖の総和をとるとさらに明瞭に現われる(実験 I~V までを通してこの和の平均をとると 90.65, 標準偏差 2.248)。このようなことは野田¹³⁾と前報¹⁾においても認められているので、ノリについて一般に当てはまる現象であろう。

実験時期の効果はアサクサノリの場合大きく現われているが、これはスサビノリには出ていないので、アサクサノリの栄養状態から由来したものであろう。その他の因子はガラクトタンには大きな影響を与えていない。

マンナン-a アサクサノリとスサビノリに共通して大きな効果を与える因子は見当たらない。少なくともスサビノリについては実験時期の効果以外は十分小さいと考えてよい。アサクサノリは実験 I で栄養塩類に比較的大きな効果が現われているので、アサクサノリはスサビノリに比べて栄養塩類、特に硝酸塩の影響を受けやすいとも考えられる。

実験時期の効果は比較的大きいが、アサクサノリとスサビノリで方向が逆である。もしこの効果が真であるとすれば、栄養状態が悪くなる時はマンナン-a が増え、健康なノリでは時期の遅い方がマンナン-a が多くなることが考えられる。

マンナン-b マンナン-b を分離する操作から考えられるように、この測定値はバラツキがかなり大きくなる点に注意を要する。この意味で、確実に影響を及ぼすと考えられる因子は、栄養塩類、交互作用 $d \times N$ 、実験時期である。栄養塩の効果は恐らく硝酸塩によるものと考えられるが、その添加はマンナン-b を減少させるように働く。実験時期の効果がアサクサノリの場合かなり大きいのは栄養状態の差によるものであろう。実験 I と II では、交互作用 $d \times N$ は比較的大きく方向が同じであるので、マンナン-b に対する栄養塩の影響は比重の相違によって異なることが考えられる。

総 括

以上は各成分毎に、実験した因子との関連を論じてきたが、これを因子の側からまとめよう。

まずノリの種々な成分含量に大きな影響を及ぼす因子は、当然のようであるが栄養塩類である。しかし中には K, Mg, Ca, Fe, S のように、この因子から受ける影響が明瞭でない、または小さいものもある。Mn, P, 全窒素および糖類に対する栄養塩類の影響は明らかであつて、P と全窒素はそれぞれ海水中のリン酸塩と各種形態の窒素濃度によって影響をうけ、他のものの影響はこれに比べて小さいと考えられる。Mn も大体同様であると思われる。そして糖は全窒素とは反対の動きを示し、かつ糖と粗蛋白の和は大体一定である。

敦賀¹⁴⁾は、広島湾付近の漁場の調査とそこで得られたノリを分析した結果、河口と沖合との間でノリの生理に最も影響の大きい環境要因は、リン酸塩と硝酸塩の濃度の差であろうと論じているが、本実験の結果はこれを実証するものと考えられる。

栄養塩類の効果をスサビノリとアサクサノリとで比べると、アサクサノリの方が全般にやや大きいようである。アサクサノリが作りにくいと言われることも考え合わせると、海水の組成変化に対する両ノリの挙動の差が現われているのではないかと考えられる。

実験時期は栄養塩類について大きな影響を示している。実験 IV では特に著しいが、これは使用したアサクサノリの栄養状態が両水準間で著しく異なっていたためであろう。この場合全窒素、P、K、Mn は実験 IV の第 1 水準の効果が負である。このことは栄養状態が悪く生活力の弱つたノリでは、これらの成分の吸収固定力が弱くなっていることを意味する。このことは逆にノリを生活力を数量的に表わすのに、これら成分の含量変化が一つのパラメーターとして役立つかも知れない。またスサビノリでも実験時期の効果は他の因子による効果に比べて β が大きいものが多いようである。これは勿論ノリの栄養状態によるのではなく、成分によっては気象上の要因（例えば光、水温）、あるいはノリの内部的な要因（例えば老幼）を栄養塩類に次ぐ大きな要因として考慮せねばならないことを示すと考えられる。

比重の影響は全般に小さいが、Na、K、Ca には多少の影響を及ぼすようである。

硫酸塩濃度の影響は明瞭な関係を捉え難い。

交互作用も多くの場合小さい。しかし例えば SHAPIRO ら¹⁵⁾がラン藻類の P のとり込みには培養基中の Mg の濃度が関係すると報じているように、ノリの場合海水中のある成分の濃度が他の成分の吸収に影響することは十分考えられることであり、もしこのようなことがあればそれは交互作用として表われてくるはずである。本実験で交互作用が全体に小さかつたことは、交互作用が現われるような組合せが実験に組込まれなかつたからとも考えられるが、海水中にそれらの成分の一方あるいは両方が十分多量に存在していたため小さな効果しか現われなかつた可能性も大きい。アサクサノリの品質と無機成分含量との関係についての野田の報告¹⁶⁾と、本報の実験 IV の実験時期両水準をそれぞれ下級品上級品として、その無機成分含量変化を対応させると、必ずしも互に一致するとは限らず全く反対の関係にあるものもある。これは上述のように交互作用の現われ方として解釈すべきものと思われる。

さらにノリによる海水中の種々の栄養塩の利用効率を考える場合は、種々の因子間の交互作用は十分考慮されねばならない問題であり、これらはなお今後に残された課題である。

終りに、本実験のノリ培養は、福岡県漁協連合会津屋崎ノリ採苗所で行なわれた。実験場所と労力を提供して頂いた同所長、山崎征典氏と、培養実験の指導および材料としたノリ健康について御教示頂いた福岡県水産課富士川瀬氏に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 富士川龍郎・和田正太：藻類，18，82 (1970).
- 2) 田口玄一：新版実験計画法（上），丸善，東京（1962）.
- 3) 田口玄一：直交表と線点図，p. 1~2, 36，丸善，東京（1962）.
- 4) 植物栄養学実験編集委員会：植物栄養学実験，p. 14~90，朝倉，東京（1959）.
- 5) 日本化学会編：実験化学講座，15 卷，分析化学（下），丸善，東京（1958）.
- 6) 化学の領域増刊 34，各論 2，p. 13，南江堂，東京（1962）.
- 7) 日本分析化学会北海道支部編：解説水の分析，p. 153，化学同人，京都（1966）.
- 8) Y. MURAKAMI: *Bull. Chem. Soc. Japan*, 22, 157 (1949).
- 9) V. TICHOMÍROVÁ und O. ŠIMÁČKOVÁ: *Collection Czechoslov. Chem. Commun.*, 22, 982 (1957).
- 10) T. MIWA: *Japanese J. Bot.*, 11, 88 (1940).
- 11) J. K. N. JONES: *J. Chem. Soc.*, 1950, 3292~3295.
- 12) M. DUBOIS, K. A. GILLES, J. K. HAMILTON and P. A. REBERS: *Anal. Chem.*, 28, 350 (1956).
- 13) 野田宏行：本誌，37，30~34 (1971).
- 14) 敦賀花人：内水研報，No. 22，業績 No. 106 号，p. 1~26 (1965).
- 15) J. SHAPIRO, W. CHAMBERLAIN and J. BARRETT: *Adv. Water Pollut. Res.*, 14th International Conf., 149, (1969).
- 16) 野田宏行：本誌，37，35~39 (1971).