硅藻の繁殖に関する海水の生理的性質、特に 垂直的並びに季節的相異に就て

松 平 近 義

(東京帝國大學農學部附屬水産實驗所)

The Physiological Property of Sea Water Considered from the Effect
upon the Growth of Diatom, with Special Reference
to its Vertical and Seasonal Change.

Tikayosi MATUDAIRA

SYNOPSIS

In order to study the physiological property of the sea-water, especially its effect on the growth of diatoms, the present experiment was carried out. Sea-water samples were collected at different depths and on different dates off Sinmaiko, west coast of Tita Peninsula. The sample were enriched with nitrate, phosphate, silicate and iron, and used for culture media of diatoms, artificial light being employed for the illumination. Media prepared with different sea-water samples gave different effect upon the growth of diatoms as shown in Tables 1 and 2, and Fig. 1. The growth of diatoms in media of both the surface and the bottom water was better than in that of the water taken from middle layer (Table. I). The media prepared with water samples taken on different dates at the same place show different grades of effect upon the growth. As the sea-water moves in the sea the water at a certain place changes its property occasionally and it becomes sometimes coastal and others oceanic in its nature. Culture media prepared with coastal water gave better growth than those with oceanic water collected thus at the same place but on different dates (Table 2. Fig. 1). The miqueld sea-water enhances the growth of diatoms in the present experiment as in the case of ALLEN and NELSON (1910), yet the culture with the miquelded sea-water show similarly as in the non-miquelded that the sea-water at different vertical layers has different effect upon the growth of diatoms (Table. 1). This points to the conclusion that the sea-water contains some substance which enhances the growth of diatoms. As both the coastal and the bottom sea-water are alike rich in the organic matter, this substance may enhance the growth of diatoms in the culture media.

緒 言

ALLEN & NELSON (1910) は硅藻の培養に於て外洋水に硝酸鹽と磷酸鹽とを加へただけでは同藻類は充分に繁殖し得ないが鹽化カルシウムと鹽化鐵を加へるとその發育を大いに促進すると述べ⁽¹⁾、海水中には硅藻の繁殖を妨げる物質 (inhibitory substances) があると結論した。この物質は鹽化カルシウムと鹽化鐵を加へることによつて吸着沈澱せられその毒性を減じ、骨炭によつても吸着せられ、又過酸化水素を加へることによつて分解せられると述べてゐる。

其後同氏等 (1914)⁽²⁾ は更に人工海水を用ひて培養を行ひ、人工海水にその 1% 量の自然

海水を添加すると硅藻の繁殖が促進せられ、その作用は外洋水よりも沿岸水に於て、沿岸水よりも魚槽の水に於て一層と顯著であり、海水の代りに *ulva* の抽出液を加へることによつても促進せられる所から見て硅藻の繁殖には或種の有機物が必要であることを暗示した。

この等の研究は硅藻の繁殖に関する海水の生理作用が海水の性質によつて異なることを示すものであつて海洋の生産力を論ずる上には是非確かめて置かねばならぬ問題である。著者はこの點に着目し伊勢灣の海水に就き該生理作用の有無に就て検討を行つた。

方 法

培養装置： 培養器は口径 4 cm, 高さ 12 cm のガラス管瓶を用ひ、これを口径 30 cm, 高さ 24 cm のガラス容器内に環形に並べ、ガラス板を以て覆ひ水槽中に浸し電燈による温度の上昇を防いだ。光源として 100 W の電球（東京電氣株式會社製）を用ひてガラス板上距離 20 cm より照射した。日光は遮蔽した。

培養液の處方及び使用法： 培養液の基液は次の A, B, C, D, E の 5 液である。

	處 方	使用量 (海水 1 L に對し)
A 液	KNO_3 20.2 g	} 2 cc
	H_2O 100 cc	
B 液	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 4 g	} 液が無色透明となるまで conc. HCl を加ふ。約 2 cc を要す。 .. 1 cc
	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 4 g	
	H_2O 100 cc	
C 液	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1 g	} 1 cc
	H_2O 100 g	
D 液	(3/20) N NaHCO_3	10 cc
E 液	Na_2SiO_3 を蒸溜水に溶解し SiO_2 1 g/L なる液を得る様に調製す。 .. 5 cc	

D 液以外は試薬調製後湯煎鍋上 30 分間殺菌する。

上記の 5 液を下記の如く海水に加へて培養した。

1. 海水 100 cc を湯煎鍋上 95°C にて 30 分間殺菌し冷却後上記培養基液を各々使用量だけ加へた。本實驗のすべてはこの培養液に依つた。

2. 海水 100 cc に上記 A, B, C 液を各々使用量だけ加へて後湯煎鍋上 95°C にて 30 分間殺菌し冷却後 D, E 液を加へた。この海水はミッケル氏海水とは多少異なるも作用は變りなく比較のために用ひた。尙便宜上本海水はミッケル氏變液と名づけた。

供試海水： 硅藻繁殖に對する海水の生理作用の垂直的相異の試験には伊勢灣横斷觀測の際に採水した海水（愛知縣知多郡大野町西方 7 軒）の一部を用ひ、季節的變化の試験には水産實驗所前水深 3 m 線の海水を用ひ採水は大體 4 日毎に天候靜穩な日を見て行つた。

供試海水は採水時の水温・鹽分・磷酸鹽・硅酸鹽・亞硝酸鹽（一部）の分析を行つた。

海水は採水後直ちに殺菌の操作をなし採水日の翌日より培養を開始した（但季節變化の試験を除く）。

實 驗 結 果

I. 垂直的相異： i) 海水に培養液を加へた場合 現在硅藻の繁殖に不可欠な要素として

第 1 表

採水 月 日	深 さ m	化 學 分 析				生 理 的 培 養 種	分 析		海 水 (對 照)		海水 + 培養液		
		鹽分%	SiO ₂ mg/L	P ₂ O ₅ mg/m ³	N ₂ O ₃ -N mg/m ³		培養日数	培養前の 個 體 數	培養後の 個 體 數	分裂回數	培養後の 個 體 數	分裂回數	
7/VI	0	25.71	1.53	2.5	0	Nitzsch, closterium	7	19	540	4.83	1519	6.32	
	5	30.57	0.55	2.5	0.10				29	0.61	30	0.66	
	10	31.99	0.45	12.0	1.25				94	2.64	202	3.41	
	20	33.40	0.88	18.0	1.10				231	3.60	821	5.43	
11/VII	0	2.59	5.32	0	3.5	〃	7	9	0	0	0	0	
	5	24.24	1.85	0	0				0	0	7	0	
	10	30.59	1.15	7.5	0.5				0	0	1	0	
	20	32.16	1.15	11.5	0.25				17	0.97	157	4.11	
13/VIII	0	8.01	7.05	8.4	0	Sk. costatum	5	13	2098	4.32	3045	7.89	
	5	28.01	1.35	5.3	0.15				108	3.07	1412	6.78	
	10	29.1	1.50	6.8	0				50	1.96	774	5.91	
	20	31.30	1.15	12.3	0.50				1344	6.71	2640	7.09	
10/X	0	15.50	3.45	3.0	0	〃	5	19	728	5.83	944	6.20	
	5	28.28	0.70	16.0	0.50				1622	6.98	1046	6.35	
	10	29.45	1.05	23.0	0.25				1080	6.39	1064	6.37	
	20	30.35	1.30	24.0	0.05				66	2.36	147	3.52	
8/X	0	29.76	1.30	4.5	0	〃	3.5	39	462	3.55	2888	6.11	
	5	30.25	1.10	27.0	0.15				576	3.86	1560	5.35	
	10	31.98	0.90	42.5	0.30				1464	5.21	1812	5.52	
	20	32.52	1.20	46.5	0.40				1360	5.10	3208	6.34	
10/XI	0	28.73	4.50	27.5	1.85	〃	4	8	94	3.69	303	5.30	
	5	30.89	3.75	66.6	3.25				10	0.38	16	1.06	
	10	31.80	3.70	63.3	6.33				20	1.38	33	2.10	
	20	32.25	2.00	45.0	4.50				23	1.58	50	2.70	
9/XII	0	31.54	2.15	55.5	—	〃	4	50	319	2.67	310	2.63	
	2.5	31.54	0.90	28.5	—				15	0	12	0	
	5	31.54	0.75	21.0	—				27	0	8	0	
	10	32.61	0.75	21.0	—				12	0	11	0	
	12.5	32.81	0.40	33.0	—				0	0	290	2.54	
ミッケル氏海水													
11/I	0	30.75	1.60	44.0	—	〃	4	34	2412	6.15	1360	5.03	
	2.5	30.44	0.45	18.5	—				793	4.55	65	0.93	
	5	32.20	0.25	25.5	—				1199	5.14	292	3.11	
	7.5	32.20	0.15	30.0	—				2130	5.97	324	3.26	
12/II	0	29.81	4.40	34.0	—	〃	4	34	1565	5.53	961	4.83	
	2.5	32.14	4.25	26.5	—				840	4.64	211	2.64	
	5	32.43	2.25	13.5	—				194	2.52	48	0.50	
	7.5	32.43	4.40	22.5	—				531	3.97	85	1.33	
	10.0	32.74	4.25	15.0	—				312	3.20	221	2.75	
	12.5	32.74	2.75	19.5	—			812	4.58	250	2.88		

挙げられてゐる要素は硝酸鹽・磷酸鹽・硅酸鹽・鐵鹽である。もしこれ等の要素を十分に加へるならば同一の培養條件では促進或は阻害物質のない限り同一の繁殖をなす筈である。

第 1 表(海水+培養液)の行は各種深度の海水に硝酸鹽・磷酸鹽・鐵鹽・硅酸鹽を加へて培養を行つた實驗結果を示す。然るに上掲の培養結果を見ると表層水及底層水(20 m)は中層よりも繁殖旺盛である。既述の如く ALLEN⁽²⁾ は沿岸水と外洋水との間に硅藻繁殖の差異を認め海水には硅藻繁殖に對する促進或は阻害物質の存在することを暗示したが著者の實驗でかゝる差異が垂直的にも存在することが明らかになつた。次に化學分析結果と對比して見ると磷酸鹽・硝酸鹽・硅酸鹽は培養の際に十分に添加したのであるからこれ等の鹽類は制限要素とはならない筈である。又鹽分に就ても 11/VII, 1938 の表層の著しい低鹹以外に論ずべき関係は見られなかつた。鹽分の變化と硅藻繁殖との関係は既に ALLEN 氏が發表して居りその結果より推して 11/VII 表層水以外の鹽分差異は分析には表はれぬものと見て良からう。唯こゝに注目すべきは硅藻の繁殖が硅酸鹽の多少と一致してゐる點であるがこれは寧ろ硅酸鹽の多少が關係してゐるのでなくて(硅酸鹽を加へてゐるから)水塊の相違が硅藻の繁殖に對して影響してゐるものと考えた方が妥當であらう。何んとなれば硅酸鹽の多少は陸水の影響或は底質よりの溶出を意味するからである。本實驗にて化學分析を行つた要素以外に表面及び底層水の特徴として容易に考へられるのは有機物の多い事であるから本實驗に表はれた海水の生理的性質は ALLEN 等の言ふ如く有機物であらうといふことが豫想せられる。この點の論議は次報に譲り本論文は分析に表はれた結果のみを報告する。

ii) 對照 對照に表はれた結果は培養液を加へた實驗と比較して表層水以外にはその繁殖に差異がない。これは加へた營養鹽がこれ等の培養日數では制限的に働いて居ないと云ふことを示すことが出来る。唯表層水に於ける繁殖が培養液を加へたものに比して甚だ劣るのは繁殖すべき好條件にあるにも拘らず營養鹽が制限的に働いた結果では無いかと推測される。これは化學分析結果に示されてゐる如く(第 1 表參照)表層水には磷酸鹽及び亞硝酸鹽が甚だ少いことがその原因であると考へる(硝酸鹽の分析は行はなかつたが著者の經驗では亞硝酸鹽に比例してゐるものと思ふ)。しかし如何なる要素が制限的に働いたかは説明出来ない。

iii) ミッケル氏變液を用ひた場合 各深度の海水間に表はれる生理的性質の差異はミッケル氏變液を用ひた場合も同様であるがミッケル氏變液を用ひた方が普通の培養液を加へた場合に比較して各層とも繁殖が遙に旺盛である(第 1 表)。この事實は既に述べた ALLEN の阻害物質の根據であるが本實驗の生理的性質とは別の作用であるか相關したものであるが不明である。最近 HARVEY⁽³⁾ (1937) は鐵の膠狀粒子を利用すると述べてゐるから培養液を調製する際に鐵鹽の形態に變化を生ずるためかもしれない。これ等の點に就いては尙研究を續行するつもりである。

II. 季節的相異: 水塊の相違によつて生理的性質が異なることは上述の結果で大體判明したが更にこの事實を確かめるために 18/IX 1938~24/I 1939 の約 5 ケ月間大體 4 日置きに實驗所前にて採水した海水について培養試験を行つた。培養は IV 系列に分けて行ひ對照として前系列の最終月日のもの一つを入れ順次に培養し系列 1 の繁殖を 1 として他の系列の更正値を求めこれを硅藻の分裂回數に乗じて培養條件による誤差を僅少ならしめた。實驗結果

第 2 表

採水 月日	深さ m	化 學 分 析				生 理 的 分 析							
		水温°C	鹽分%	P ₂ O ₅ mg/m ³	SiO ₂ mg/L	實驗系 列番號	培養溫 度 °C	培養 日數	培養前の 個體數	培養後の 個體數	分裂 回数	更正値	更正せし 分裂回数
18/Ⅹ	0 2.5	26.0 26.5	30.81 32.25	35.0 20.0	4.00 3.90	I	20	4	12	664 0	5.79 0	1	5.79 0
24/Ⅹ	0 2.5	23.9 24.4	16.93 30.35	28.5 26.0	1.80 2.35	"	"	"	"	4604 6	8.58 0	"	8.58 0
27/Ⅹ	0 2.5	23.5 23.5	29.49 30.68	16.0 21.5	3.35 2.75	"	"	"	"	1976 0	7.37 0	"	7.37 0
30/Ⅹ	0 3	24.2 24.5	28.28 28.48	22.5 21.5	3.60 2.55	"	"	"	"	1100 520	6.52 5.44	"	6.52 5.44
4/Ⅹ	0 3	24.0 24.4	23.86 30.46	17.5 23.5	3.39 1.90	"	"	"	"	1892 1260	7.30 6.71	"	7.30 6.71
10/Ⅹ	0 3	25.2 24.5	31.69 31.73	33.0 66.6	2.30 2.15	"	"	"	"	1092 3756	6.51 8.29	"	6.51 8.29
14/Ⅹ	0 3	24.0 23.8	24.96 29.72	35.5 66.6	4.60 2.35	"	"	"	"	1156 11	6.59 0	"	6.59 0
18/Ⅹ	0 3	19.5 22.5	26.29 29.18	73.0 33.0	5.30 5.26	"	"	"	"	2092 223	7.44 4.22	"	7.44 4.22
23/Ⅹ	0 3	22.0 22.4	29.99 29.16	47.5 34.5	5.55 5.71	"	"	"	"	3716 1540	8.28 7.00	"	8.28 7.00
27/Ⅹ	0 2.5	22.0 22.0	28.66 31.00	62.5 22.5	4.35 3.40	II	15	"	8	1730 0	7.76 0	1.10	8.54 0
1/Ⅺ	0 2.5	19.5 21.6	12.67 30.54	22.5 38.0	14.29 4.20	"	"	"	"	236 0	4.88 0	"	5.37 0
7/Ⅺ	0 2.5	19.8 22.2	29.60 31.62	21.5 38.0	3.50 3.35	"	"	"	"	472 0	5.88 0	"	6.47 0
10/Ⅺ	0 2.5	19.6 20.2	29.72 29.35	73.5 53.2	4.35 4.25	"	"	"	"	1797 11	7.81 0.54	"	8.59 0.58
14/Ⅺ	0 2.5	14.2 14.5	28.46 28.62	66.6 75.0	4.25 4.25	"	"	"	"	937 5	6.87 0	"	7.56 0
19/Ⅺ	0 2.5	19.4 20.3	31.53 32.16	10.0 20.0	3.95 2.20	"	"	"	"	5 0	0 0	"	0 0
23/Ⅺ	0 2.5	15.1 14.1	29.67 30.12	29.0 25.0	1.05 0.30	III	10	4	6	52 18	3.17 1.64	1.01	3.20 1.66
27/Ⅺ	0 2.5	14.0 14.1	29.85 29.85	30.5 21.3	2.87 1.90	"	"	"	"	82 26	3.82 2.17	"	3.86 2.19
29/Ⅺ	0 2.5	13.0 15.2	29.98 30.70	18.5 9.5	0.45 0.55	"	"	"	"	68 31	3.55 2.42	"	3.59 2.44
3/Ⅻ	0 2.5	12.5 13.7	29.85 30.46	8.0 2.5	0.55 0.40	"	"	"	"	77 15	3.73 1.38	"	3.77 1.39
8/Ⅻ	0 2.5	11.0 11.2	30.35 30.35	50.0 50.0	0.45 0.35	"	"	"	"	236 75	5.35 3.69	"	5.40 3.73
12/Ⅻ	0 2.5	14.2 14.2	31.47 31.26	47.5 5.0	0.45 0.65	"	"	"	"	228 59	5.30 3.35	"	5.35 3.38

第 2 表 の 續 き

採水 月日	深さ m	化 学 分 析				生 理 的 分 析							
		水温 °C	鹽分 ‰	P ₂ O ₅ mg/ml	SiO ₂ mg/L	實驗系 列番號	培養温 度 °C	培養 日數	培養前の 個體數	培養後の 個體數	分裂 回數	更正值	更正せし 分裂日數
15/XI	0 2.5	10.5 13.0	30.08 31.04	31.5 17.5	1.35 0.80	III	10	4	6	140 33	4.59 2.51	1.01	4.64 2.54
18/XI	0 2.5	12.0 13.0	30.35 31.44	15.0 9.0	0.10 0.60	"	"	"	"	162 19	4.81 1.72	"	4.86 1.74
20/XI	0 2.5	10.5 13.2	30.26 31.04	14.0 12.0	0.10 0.85	"	"	"	"	215 27	5.21 2.22	"	5.26 2.24
26/XI	0 2.5	9.0 12.0	27.11 30.70	50.0 49.0	1.15 0.80	"	"	"	"	136 20	4.55 1.79	"	4.60 1.81
6/I	0 2.5	7.0 7.3	30.08 30.17	55.5 40.0	0.10 2.10	"	"	"	"	127 17	4.45 1.55	"	4.49 1.57
10/I	0 2.5	6.80 7.80	30.43 31.26	25.5 43.0	0.62 0.29	IV	"	"	34	865 57	4.67 0.75	0.91	4.25 0.68
14/I	0 2.5	7.30 8.70	30.75 31.89	22.5 10.0	0.30 0.30	"	"	"	"	1049 57	4.95 0.75	"	4.50 0.68
16/I	0 2.5	8.00 8.9	31.26 31.80	15.0 35.0	0.40 0.23	"	"	"	"	707 62.3	4.38 4.19	"	3.98 3.81
21/I	0 2.5	6.00 8.80	30.86 31.91	55.5 25.0	0.20 0.22	"	"	"	"	1111 493	5.03 3.86	"	4.58 3.51
24/I	0 2.5	7.70 9.00	30.07 31.71	9.5 45.0	0.32 0.22	"	"	"	"	1166 100	5.10 1.56	"	4.64 1.42

は第 2 表及第 1 圖に示す。繁殖は前實驗結果と同様に上下兩水の混合のない限り殆ど常に表面水に於て繁殖が盛んである。しかも日時的變化は不規則なものでなく第 1 圖に示す如く連續的な變化を示し水塊の移動と明らかに一致することが窺はれる。即ち 19/XI を境界として繁殖の状態に著しい差があるが水質的にも水温・鹽分・硅酸鹽にて判る如く大いに異つてゐる。換言すれば河水の影響ある海水（沿岸水）に培養液を加へて硅藻を培養したものは然らざる海水に培養液を加へて培養したものよりも繁殖が良いといふ事である。

第 1 圖

最後に本實驗に於て注目すべき事は系列の始めのものと終りのものとは採水の月日に於て約 1 ヶ月の差異あり、その間始めの海水は暗所に放置して置いたにも拘らず實驗結果から見ると海水の生理的性質に變化を生じた様子が見られぬといふ事である。これから見て該生理的性質はかなり安定なものと言へる。

結 語

ALLEN は人工海水を用ひて硅藻を培養する際にその 1% に當る自然海水の添加を必要であるとなし、その效力に於て添加海水が沿岸水の場合と外洋水の場合とではその間に差異あることを認めたが、著者は單に海水に培養液を加へて硅藻を培養する際にも使用せし該海水間にその繁殖に對する生理的性質に差異あることを認め、種々の深度の海水につき實驗した所上層の海水及び底層の海水は中層の海水よりも繁殖盛んであることが判明した。又この海水の性質は水塊の性質によつて異なることが明らかになつた。即ち沿岸性の海水は外洋性の海水よりも硅藻の繁殖が良好であつた。これ等の諸事實及 ALLEN の研究結果より推して硅藻の繁殖に關する海水の生理的性質は海水中に含まれる有機物であらうといふ暗示を得、更に研究を續行した。この研究結果は後報に譲ることとする。

ミッケル氏變液が海水に單に培養液を加へたものよりも繁殖盛んなることは ALLEN 等の得た結果と全く同一であるがその繁殖促進作用はミッケル氏海水を作る際に生ずる磷酸鐵の沈澱が阻害物質を吸着したためか、最近 HARVEY が稱へる鐵鹽の形態か（氏は硅藻は鐵の膠狀粒子を利用する事實を述べてゐる⁽³⁾）更に研究を要する點である。

尙本研究は帝國學士院より研究費補助を受けて行つた研究の一部で同院に對し深く謝意を表する次第である。又御校閲を賜つた雨宮育作教授に深謝する。

文 獻

- (1) ALLEN and NELSON: On the artificial culture of marine plankton organisms. Quart. Journ. Micro. Sci., 55, 1910.
- (2) ALLEN, E. J.: On the culture of the plankton diatom *Thalassiosira gravida*, CLEVE, in artificial sea water. Jour. Mar. Biol. Assoc., 10, 1914.
- (3) HARVEY H. W.: The supply of iron to diatoms. Journ. Mar. Biol. Assoc., 22 (1), 1937.