

フジツボによる赤潮の抑制

Controlling a red tide by *Balanina*

三好 勝之 齋藤 文瑠 松本 裕人 横山 竜也

Miyoshi Katsuyuki Saito Takeru Matsumoto Hiroto Yokoyama Tatsuya

I 研究動機

瀬戸内海で頻繁に発生し、養殖業などに悪影響を及ぼしている赤潮を海中生物で抑制できないかと考えたため、この研究を始めた。また、海中生物が赤潮を抑制するとき、どの程度の期間で赤潮を消滅させることができるのかを調べたいとも考えた。

II 研究内容

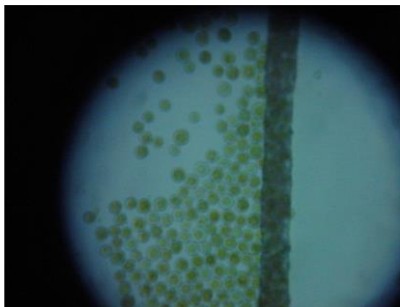
今回の実験で使用した赤潮プランクトンはシャットネラ・アンティカ(*Chattonella antiqua*)と呼ばれる渦鞭毛藻類である。これは最も害のあるプランクトンのひとつで、有明海などで分布が確認されている。また、このプランクトンの抑制にはフジツボを用いた。フジツボを用いた理由は、飼育の容易さと先行研究での実証例が確認されなかったことの2点である。はじめは二枚貝の使用を考えたが、以前二枚貝を使って別の実験を試みた先輩方が、二枚貝の飼育がかなり困難であったと発表でおっしゃっていたので、別の生物で代用する必要があった。そこで、主にプランクトンを捕食し、赤潮と関連した過去の研究が確認できなかったフジツボを採用した。

実験に使用した生物について

シャットネラ=アンティカ

(*Chattonella antiqua*)

- ・植物性プランクトン
- ・赤潮を発生させる



フジツボ

(*Balanina*)

- ・甲殻類 (カニやエビ)
- ・多くは海水域に生息
- ・プランクトンを捕食

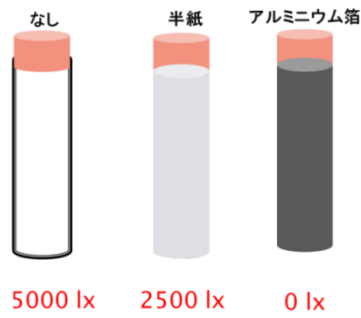


III 予備実験

まず、プランクトンが最も増殖する環境条件を、温度と照度に着目して調べた。これは本実験の際、環境条件がプランクトンの増殖を妨げ、フジツボによるプランクトン抑制の様子を適切に観察できないということを事前に防ぐためである。

・実験方法

プランクトンと培地の入った試験管を用意した。3本の試験管のうち、1本を半紙で、もう1本をアルミ箔で包み、試験管内の光を調節した。残った1本はコントロールとし、そのままにしておいた。試験管内の照度はコントロール、半紙、アルミ箔の順におおよそ5000 lx, 2500 lx, 0 lxであった。この3本の試験管をそれぞれ2本ずつ作り、温度設定した人工気象器内で1回の実験につき14日間放置した。設定温度は20.0°C, 22.5°C, 25.0°Cの3通りであった。また、1日ごとに試験管内の液を0.1mlとり、その中に存在するプランクトンの数を数える作業を、1本の試験管につき2回ずつ行った。



調べる温度
 ・20.0℃
 ・22.5℃
 ・25.0℃

図1：予備実験の様子

私たちは温度が高いほど、また照度が大きいほどプランクトンの増殖の仕方は大きくなると予想した。

・結果 (縦軸:プランクトンの細胞数;細胞数) (横軸:経過日数;日)

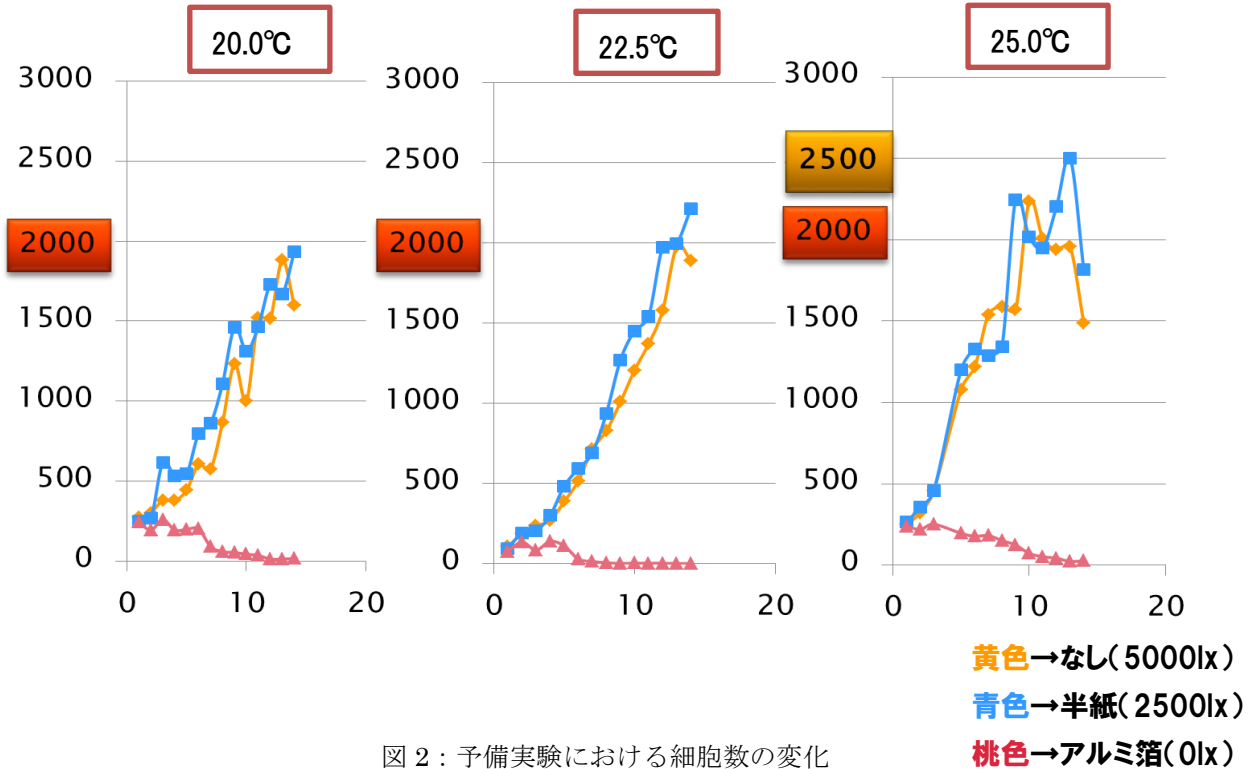


図2：予備実験における細胞数の変化

・考察

照度 5000lx, 2500lx のものはすべての温度下でほぼ毎日増え続けた。また、温度上昇につれてプランクトンの増殖速度は大きくなった。ただし、25.0℃の10日目以降においては細胞数が増えなかった。これは試験管内の培地の栄養分が不足し始めたためだと思われる。

◎5000 lx と 2500 lx の結果の比較

5000 lx と 2500 lx の細胞数は、どの温度でも大きな差が見られなかった。これについては、2500 lx の時点で光飽和が起こっていると考え、5000 lx のときと 2500 lx のときとは増殖速度は等しくなっていると考えた。

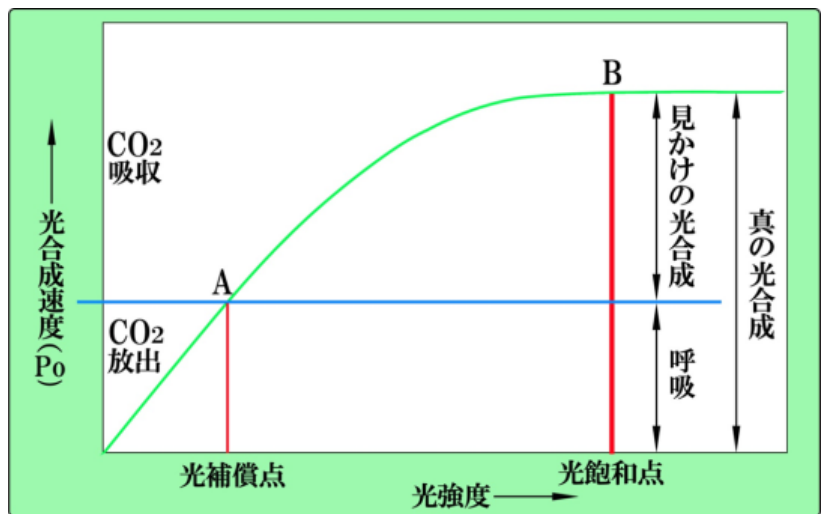


図3：光飽和の様子

これらのことより、プランクトンの最も増加しやすい環境は温度 25.0℃、照度 2500lx 以上とした。ただし、本実験では半紙の取り付け等の作業を省略するため、照度を 5000lx にして実験した。

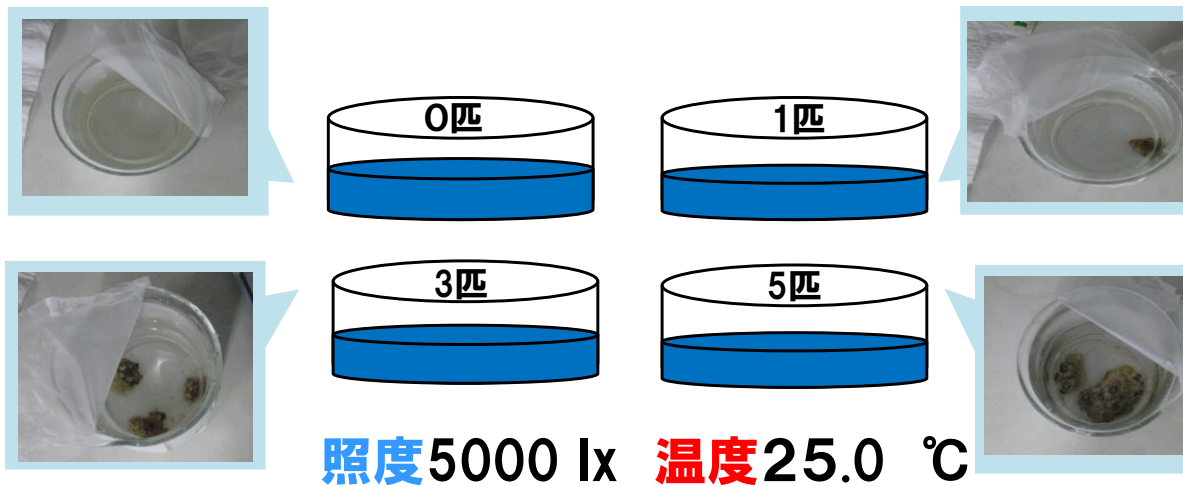
IV 本実験

予備実験より、人工気象器内を温度 25.0℃、照度 5000lx に設定して実験を行った。本実験では 50ml ビーカーを 8 つ用意した。入力変数はフジツボの個体数で、0 匹(コントロール)、1 匹、3 匹、5 匹の 4 種類に分け、同じ条件のものを 2 つずつ作った。各ビーカーに培地、プランクトンが含まれた液を 1 回目は 40ml、2 回目は 33ml 入れた。2 回目は培地の残量が足りなかったため、培地とプランクトンの割合が 1 回目の実験と等しくなるように調整した。またプランクトンが含まれた液は全体の 10 パーセントのなるように調整した。

私たちは、フジツボの大きさが大きいほど、プランクトンの細胞数が 0 になるまでの日数は少なくなると考えた。また、フジツボが酸素不足やプランクトンの影響(例:魚の斃死)で死んでしまった時は、プランクトンの細胞数は増加するとも考えた。なお、酸素不足は光合成をするプランクトンの減少がフジツボに大きく作用したときに起こりうると考えた。

1 回目の実験の結果が図 5 と図 6、2 回目の実験の結果が図 7 と図 8 である。2 つの実験ともに 14 日目では、すべてのフジツボの生存が確認された。どちらの実験もフジツボが 0 匹の時、プランクトンの細胞数が大幅に増加していた。プランクトンの細胞数が 0 となった日数は、1 回目の実験でフジツボが 3 匹の条件下では 7 日間、フジツボが 5 匹の条件下では 6 日間だった。2 回目の実験ではフジツボが 3 匹、5 匹の条件下ともに 9 日間だった。しかし、フジツボが 5 匹の条件の方が、プランクトンの細胞数の減少の割合が大きかった。

両実験ともに実験期間が終了した後、フジツボの重さを計量した。これはフジツボの大きさが捕食するプランクトンの細胞数に影響していると考えたためである。しかし、2 回目の実験の計量では、実験が終了してから 1 週間ほど経過していたためかフジツボが腐敗しており、正確な重さを量ることができなかった。1 回目のフジツボの重さを計量した結果が図 9 である。また、フジツボの重さと、フジツボが食べたプランクトンの細胞数からフジツボ 1g あたりのプランクトン消費量を求めた。



1 回の実験で同じ条件のビーカーを 2 つずつ用意した(①、②で区別)

図 4:本実験の様子

・結果①

プランクトンの細胞数(細胞数)

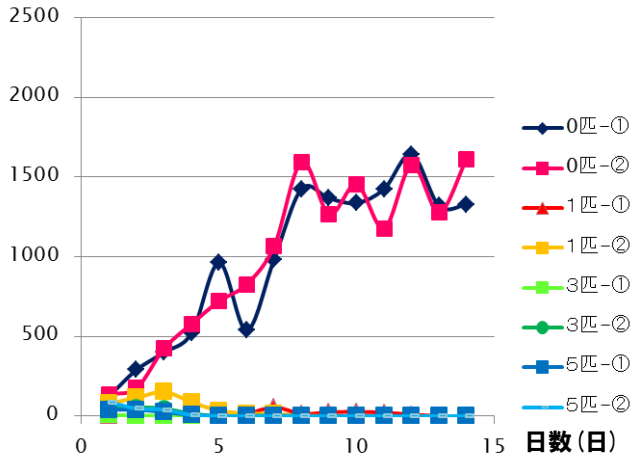


図 5 : 1 回目の実験のプランクトンの細胞数の変化

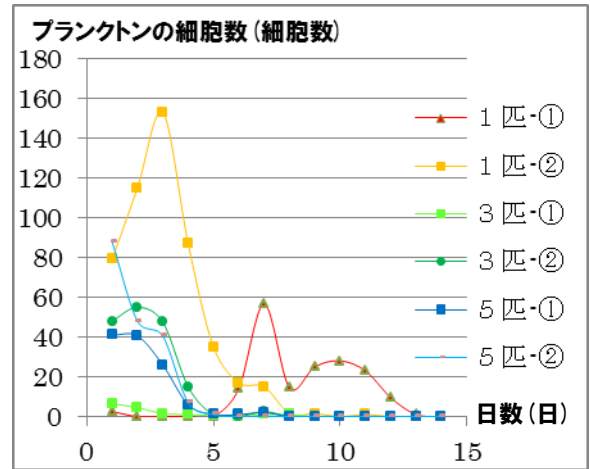


図 6: 左図の 1 匹-②~5 匹-②の拡大図

プランクトンの細胞数(細胞数)

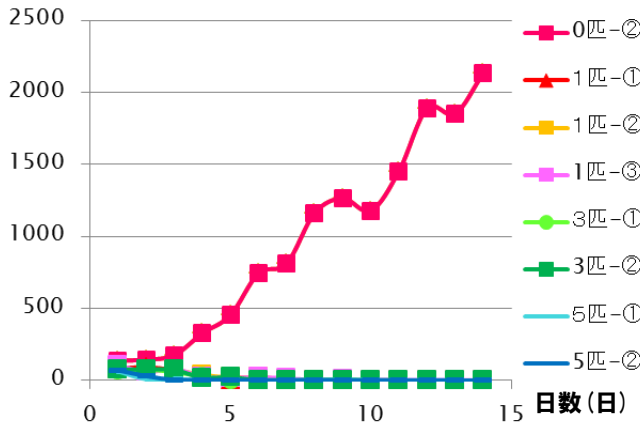


図 7 : 2 回目の実験のプランクトンの細胞数の変化

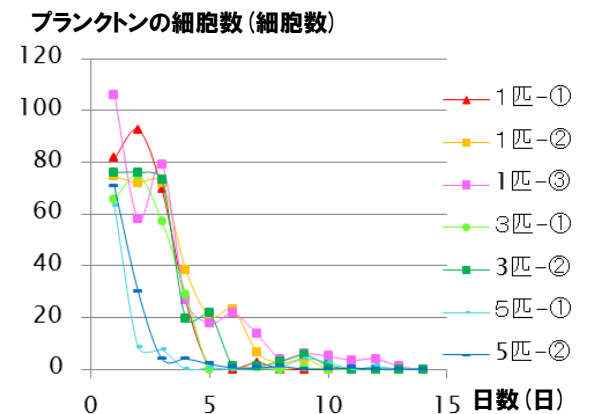


図 8: 左図の 1 匹-②~5 匹-②の拡大図

個体	重さ(g)
1-②	0.117
3-①(1)	0.0408
3-①(2)	0.663
3-①(3)	0.0656
3-②(1)	0.0408
3-②(2)	0.667
3-②(3)	0.125

例) 5-①(3…フジツボ 5 匹-①の 3 匹目

個体	重さ(g)
5-①(1)	0.0693
5-①(2)	0.0586
5-①(3)	0.0769
5-①(4)	0.0777
5-①(5)	0.0537
5-②(1)	0.0647
5-②(2)	0.0950
5-②(3)	0.0666
5-②(4)	0.0412
5-②(5)	0.0303

図 9 : 1 回目の実験のフジツボの重さ

◎フジツボが食べたプランクトンの細胞数の出し方

(図のグラフはこの過程で出た図をもとに作った)

I) コントロールの増殖速度を出す

実際に記録したデータのコントロールの欄を見る。コントロールの数値が前の日と比べて何倍の値になっているかを1日ごとに計算する。

Xの値	0匹-①	0匹-②	1匹-①	1匹-②	3匹-①	3匹-②	5匹-①	5匹-②
1	125	137	2.5	79	6.5	48	41	88
2	291	176.5	0	115	4.5	55	40.5	48
3	399.5	424.5	0	153	1.5	47.5	26	40.5
4	520	578.5	0	87	1	15	6	7
5	963	721.5	0	35	0.5	1	1	1
6	538.5	827	14	17	0	0	1	0
7	984	1066	56.5	15	1	2.5	2	0
8	1425.5	1595	14.5	1.5	1	0	0	0
9	1366	1268	25	1.5	0	0	0	0
10	1337	1454	28	0	0	0	0	0
11	1425	1178	23	1	0	0	0	0
12	1642	1576	9.5	0	0	0	0	0
13	1318	1281	1	0	0	0	0	0
14	1325.5	1613	0	0	0	0	0	0

例)4日目の場合

ビーカー①の場合 3日目の数値が399.5匹、4日目の数値が520匹であるから、4日目の増殖速度は

$$520 \div 399.5 = 1.3016 \dots \text{となる。}$$

図 10: 実際に記録したデータの表 (1匹-①~5匹-②)はそれぞれ2つのデータを平均している

※1匹-①は最初に入れるプランクトンの量間違えていたのでデータからは削除した。

Xの値	0匹-①	0匹-②	平均
0		1	1
1	0.73964497	0.81065089	0.77514793
2	2.328	1.28832117	1.80816058
3	1.37285223	2.40509915	1.88897569
4	1.30162703	1.36277974	1.33220339
5	1.85192308	1.24719101	1.54955704
6	0.55919003	1.14622315	0.85270659
7	1.82729805	1.28899637	1.55814721
8	1.44867886	1.49624765	1.47246326
9	0.95826026	0.79498433	0.87662229
10	0.97877013	1.14629338	1.06253175
11	1.065819	0.81045752	0.93813826
12	1.1522807	1.33743633	1.24485852
13	0.80267966	0.81307521	0.80787744
14	1.00569044	1.25917252	1.13243148

図 11: コントロール①, ②の増殖速度とその平均値

II) フジツボを入れたビーカー内のプランクトンの増え方の予想値を出す

すべてのビーカーにおいて、最初に入れたプランクトンの数、観察した環境は同じになるように実験した。よってプランクトンの増殖速度はどのビーカーにおいてもコントロールと等しいとし、表①のデータの各数値に次の日の増殖速度(平均)をかけて、フジツボに食べられなかったプランクトンが次の日にどのくらい増殖できるのかを予想する。それぞれ計算し、求めた数値が下の表である。

Xの値	1匹-②	3匹-①	3匹-②	5匹-①	5匹-②
1	131	131	131	131	131
2	142.844686	11.7530438	86.791708	74.1345839	159.118131
3	217.232205	8.50039061	103.893663	76.5035155	90.6708332
4	203.827118	1.99830508	63.2796609	34.6372881	53.9542372
5	134.811463	1.54955704	23.2433557	9.29734226	10.8468993
6	29.8447306	0.42635329	0.85270659	0.85270659	0.85270659
7	26.4885026	0	0	1.55814721	0
8	22.0869489	1.47246326	3.68115815	2.94492652	0
9	1.31493344	0.87662229	0	0	0
10	1.59379763	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	1.24485852	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0

例)5匹-① (4日目の場合)

表①から実際に記録した前日(3日目)のデータは26、

表②から4日目の増殖速度は1.332...

であるので、予想値は

$$26 \times 1.33220339 = 34.6372881(\text{匹})$$

図 12: フジツボに食べられなかったプランクトンの増え方の予想

III) フジツボが食べたプランクトンの数を求める

II で求めた予想値から実際に記録した数値を引いて、フジツボがプランクトンを何匹食べたのかを求める。

表⑤のデータ-表①のデータ(フジツボが食べた数)					
Xの値	1匹-②	3匹-①	3匹-②	5匹-①	5匹-②
1	52	124.5	83	90	43
2	27.8446861	7.2530438	31.791708	33.6345839	111.118131
3	64.2322046	7.00039061	56.3936631	50.5035155	50.1708332
4	116.827118	0.99830508	48.2796609	28.6372881	46.9542372
5	99.8114628	1.04955704	22.2433557	8.29734226	9.84689931
6	12.8447306	0.42635329	0.85270659	-0.1472934	0.85270659
7	11.4885026	-1	-2.5	-0.4418528	0
8	20.5869489	0.47246326	3.68115815	2.94492652	0
9	-0.1850666	0.87662229	0	0	0
10	1.59379763	0	0	0	0
11	-1	0	0	0	0
12	1.24485852	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0

例)5 匹-① (4 日目)の場合
 表③から予想値は 34.63...,
 表①から記録データは 6
 であるので、食べた数は
 $34.6372881 - 6 = 28.6372881$ (匹)

図 13: フジツボが食べたプランクトンの数(消費量)

以上のデータから次のようなグラフができた。

プランクトンの細胞数(細胞数)

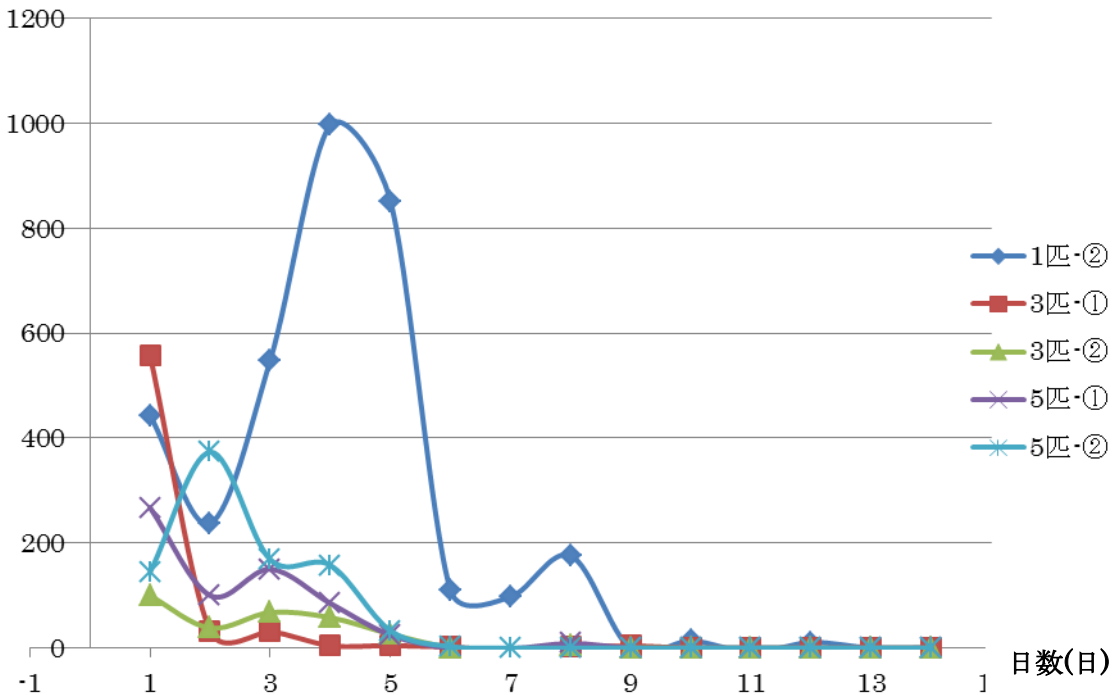


図 14:フジツボ 1g あたりのプランクトン消費量(1 回目)

・考察

フジツボの個体数が増えるほどフジツボ 1g あたりのプランクトン捕食量が少なくなったことから、この現象に特別な関係性はないかと考え、図 14 のグラフから最大値をそれぞれ取り出し、各状況における最大のプランクトン捕食量を下のグラフで表した。

- ・結果②
- ・5/22～6/4の結果から求めた最大捕食量

$$\text{最大捕食量} = \frac{\text{食べたプランクトンの細胞数}}{\text{フジツボの重さ}}$$

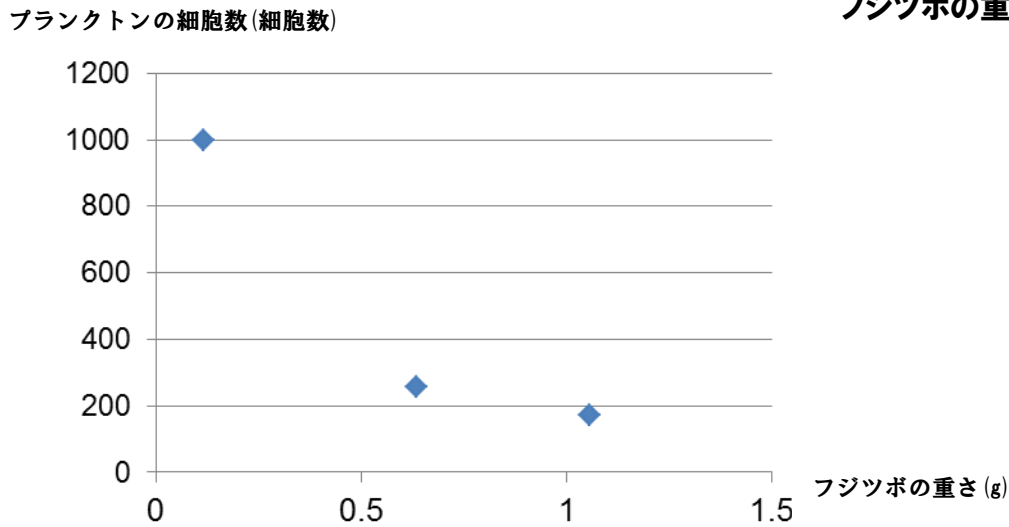


図 15:各ビーカーにおける最大値とフジツボの質量の関係

また、2回目の実験はフジツボの重さを測定できなかったため、フジツボの重さと実際の捕食量からグラフを作成できなかった。

・考察

このグラフには2次関数的、あるいは反比例的な関係があるように見えた。しかし実験回数が少なく、捕食量も個体差が大きいため、この関係性を数値化するのは困難かつ現状では不可能であると結論付けた。

V 今後の課題

現段階ではフジツボの実用例として、牡蠣の養殖のような形で沖合に設置するという案を考えている。これからはそのような環境下でも赤潮プランクトンを捕食できるかどうかを調べたい。

VI 参考文献

- ・培養条件下で観察された赤潮ラフィド藻の高い増殖速度（北海道大学水産科学研究彙報 今井一郎）
- ・藻類実験法（南江堂：田宮博，渡辺篤）
- ・微細藻類の分離と培養（日本水産保護自然協会：岩崎秀雄）

VII 謝辞

今回の実験にご協力していただいた赤潮研究所の大山様，電子メールで知恵を貸していただいた佐々木様，大変お世話になりました。本当にありがとうございました。