

ほたてがい輸出拡大推進事業 (漁場環境とホタテガイの成長に関する研究)

山内弘子・吉田達

目的

陸奥湾における漁場環境（水温、餌料）とホタテガイ成育状況をもとに平成 25 年度に開発し、平成 28 年度に改良したホタテガイ成長予測モデル（陸奥湾全湾モデル）を検証するとともに、精度向上のための改良を行う。

材料と方法

1. ホタテガイ成長予測モデルの検証

陸奥湾全湾モデルに、平成28年度の久栗坂実験漁場、川内実験漁場、陸奥湾西湾の蓬田村の漁業者養殖施設のデータを追加して、稚貝分散時の殻長、パールネット1段当りの収容密度、稚貝分散時期（9月1日から分散までの日数）、12月～翌年3月の平均水温、10月～翌年3月のクロロフィルa量を説明変数とし、翌年4月のホタテガイ1年貝の全重量を目的変数として重回帰式を求め、モデルの検証を行った。

2. 採水とメモリー式クロロフィル計によるクロロフィル量の比較

久栗坂実験漁場において、平成 22 年 8 月から平成 29 年 3 月まで毎月 2 回、バンドーン採水器を用いて水深 10m から採水し、ガラス繊維ろ紙（平成 25 年 3 月までは孔径 1.2 μ m のワットマン GF/C フィルター、平成 25 年 4 月以降は孔径 0.7 μ m のワットマン GF/F フィルター）を用いて試水 1 l をろ過した。フィルターの残渣をアセトンで抽出し、蛍光法¹⁾によりクロロフィル a 量を測定し、その濃度を求めた。また、同実験漁場の境界施設において、水深 10m の幹網ロープへメモリー式クロロフィル計（JFE アドバンテック社 Compact-CLW、以下、クロロフィル計と呼ぶ）を設置し、平成 22 年 8 月～平成 29 年 3 月に 1 時間間隔でクロロフィル量を記録した。

なお、採水による分析値、クロロフィル計による測定値ともに、平成 19 年 4 月からデータがあるものの、クロロフィル計による測定値には 30～50mg/m³の異常値（図 1）がたびたび見られた。この対策として、平成 22 年 8 月に海藻やゴミ等がセンサーを覆うのを防ぐ目合い 18mm のネットロン製ネット（図 2）を被せ、毎月 2 回、ネット交換をしたところ、安定したデータが得られるようになったことから、今回の解析にはデータが安定した平成 22 年 8 月以降のデータを用いた。

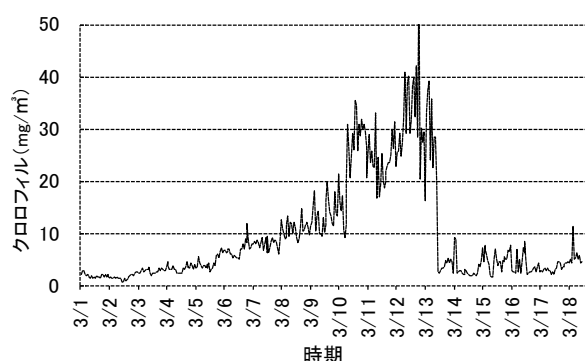


図 1. クロロフィル計によるクロロフィル量の異常値の例（平成 21 年 3 月）

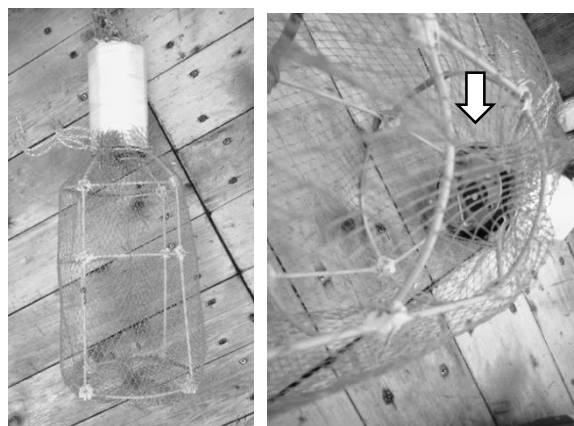


図 2. クロロフィル計の防護ネット（左は未装着のネット、右は装着状態のネットで矢印部分がセンサー）

3. ホタテガイ成長予測モデルの精度向上

平成 18～28 年度の久栗坂実験漁場及び川内実験漁場における稚貝分散時の殻長、パールネット 1 段当りの収容密度、12 月～翌年 3 月の平均水温（久栗坂実験漁場は青森ブイ水深 15m 層、川内実験漁場は水深 10m 層のクロロフィル計内蔵の温度計）、10 月～翌年 3 月の水深 10m 層のクロロフィル計もしくは採水分析による平均クロロフィル量を説明変数とし、翌年 4 月のホタテガイ 1 年貝の全重量を目的変数として重回帰式を求めた。

結果と考察

1. ホタテガイ成長予測モデルの検証

久栗坂実験漁場、川内実験漁場、蓬田村、平内町小湊の漁業者養殖施設における稚貝分散時の殻長（S）、パールネット1段当りの収容密度（De）、9月1日から分散までの日数（Da）、12月～翌年3月の青森ブイ水深 15m層の平均水温（T）、10月～翌年3月の水深10m層のクロロフィルa量（C）、翌年4月のホタテガイ1年貝の全重量（Y）のデータ（表1）から得られた重回帰式を求めた。

$$Y=1.190 \times S - 0.323 \times De - 0.339 \times Da + 1.500 \times T + 10.915 \times C + 7.525$$

昨年度のサンプル数 34 から本年度は 45 に増やしたが、4 月の全重量の実測値と推定値の相関係数（r）は 0.865 で、昨年度の相関係数（0.872）と同様の値を示し、有意水準 1% 以下で有意な正の相関が認められたほか（図 3）、自由度調整済み決定係数（補正 R²）は 0.716 と昨年度（0.718）とほぼ同じ値を示し、回帰式の当てはまりも良かったことから、昨年度、改良したモデルの妥当性が検証された。

目的変数に対する説明変数の影響度を調べるため、標準化したデータを用いて、標準偏回帰係数を求めた。ここで示された標準偏回帰係数は目的変数への影響の大きさを表しており、目的変数に与える説明変数の影響は昨年と同じく、9月1日から分散までの日数（0.746）、分散時殻長（0.588）、収容密度（0.288）、クロロフィルa量（0.232）、水温（0.172）の順に大きかった。

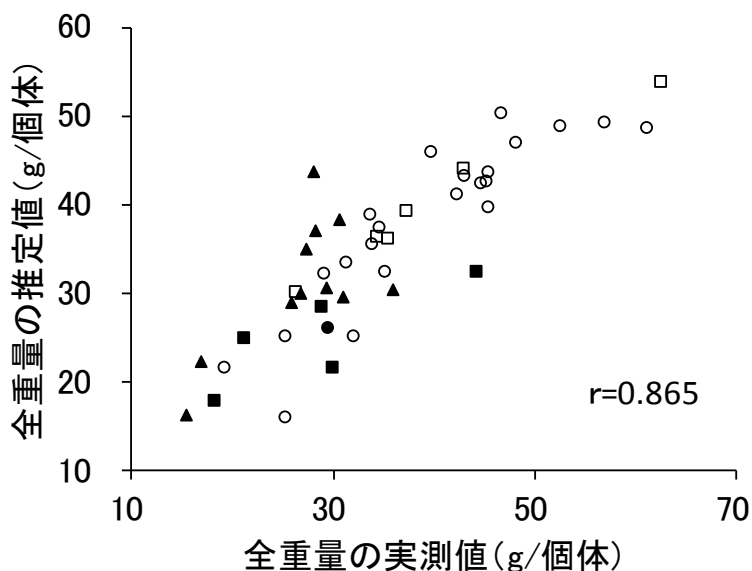


図 3. 陸奥湾全湾モデルを用いた久栗坂実験漁場（○）、川内実験漁場（□）、蓬田村（▲）と平内町小湊（■）の漁業者養殖施設における 4 月の 1 年貝の全重量の推定値と実測値

表1. 久栗坂・川内実験漁場、蓬田村と平内町小湊の漁業者養殖施設における調査結果

場所	年度	秋の分散時 殻長(mm)	収容密度 (個体/段)	9月1日から 分散までの 日数(日)	10~3月のク ロロフィルa (mg/m ³)	12~3月の平 均水温(°C)	4月のホタテ ガイ全重量 (g/個体)
久栗坂	平成18年度	23.2	15.0	28	1.38	8.61	52.5
	平成19年度	23.5	15.0	20	0.70	7.86	43.0
	平成20年度	27.1	15.0	30	0.98	9.15	56.9
		27.1	40.0	30	0.98	9.15	42.2
	平成21年度	27.8	15.0	29	0.78	8.29	48.1
		27.8	40.0	29	0.78	8.29	33.6
	平成22年度	19.9	14.7	68	0.99	7.29	31.9
		19.9	43.0	68	0.99	7.29	25.1
	平成23年度	27.5	15.3	42	1.11	6.21	45.1
		27.5	37.0	42	1.11	6.21	33.8
	平成24年度	17.5	11.7	39	0.83	7.83	29.0
		17.5	44.0	39	0.83	7.83	19.1
	平成25年度	18.9	13.7	36	0.88	6.92	31.2
		18.9	39.0	36	0.88	6.92	25.2
	平成26年度	20.4	15.7	28	0.86	8.65	45.3
		20.4	38.0	28	0.86	8.65	35.0
	平成27年度	25.8	17.3	16	0.72	9.00	61.0
		25.8	32.5	16	0.72	9.00	45.2
	平成28年度	27.2	13.0	11	0.52	8.53	46.6
		27.2	27.0	11	0.52	8.53	39.5
川内	平成27年度	27.1	15.0	3	0.89	6.75	62.4
	平成28年度	26.3	12.9	19	0.63	6.02	43.0
		26.3	18.3	19	0.63	6.02	44.5
		26.3	27.8	19	0.63	6.02	37.2
		26.3	37.0	19	0.63	6.02	34.3
		20.6	12.8	19	0.63	6.02	34.6
		20.6	35.2	19	0.63	6.02	26.2
		41.7	14.8	95	0.63	6.02	35.3
		41.7	31.8	95	0.63	6.02	29.4
蓬田	平成19年度	23.4	13.9	39	0.58	8.70	28.2
	平成20年度	21.0	23.6	38	1.09	9.49	30.7
	平成21年度	22.6	16.5	30	1.02	9.01	28.1
	平成22年度	18.3	24.7	54	1.42	7.64	26.8
	平成23年度	29.7	15.5	64	0.80	6.60	27.4
	平成24年度	28.1	27.0	104	0.58	8.55	15.5
	平成25年度	22.5	17.7	76	0.79	7.18	16.9
	平成26年度	18.8	27.4	53	1.09	9.30	25.8
	平成27年度	24.1	25.7	49	0.42	9.66	35.9
	平成28年度	24.8	30.0	46	0.37	9.18	31.0
小湊	平成22年度	13.0	11.6	42	1.26	6.43	28.8
	平成23年度	21.2	24.3	52	0.65	4.81	29.9
	平成24年度	18.1	16.1	73	0.80	6.70	18.2
	平成25年度	28.3	20.5	76	0.66	6.00	21.1
	平成26年度	31.1	30.9	78	0.61	7.67	29.3
	平成27年度	24.9	19.6	53	0.66	8.18	44.2

2. 採水とクロロフィル計によるクロロフィル量の比較

平成 22～28 年度における久栗坂実験漁場の水深 10m 層のクロロフィル計によるクロロフィル量を図 4-1～4-7 に示した。

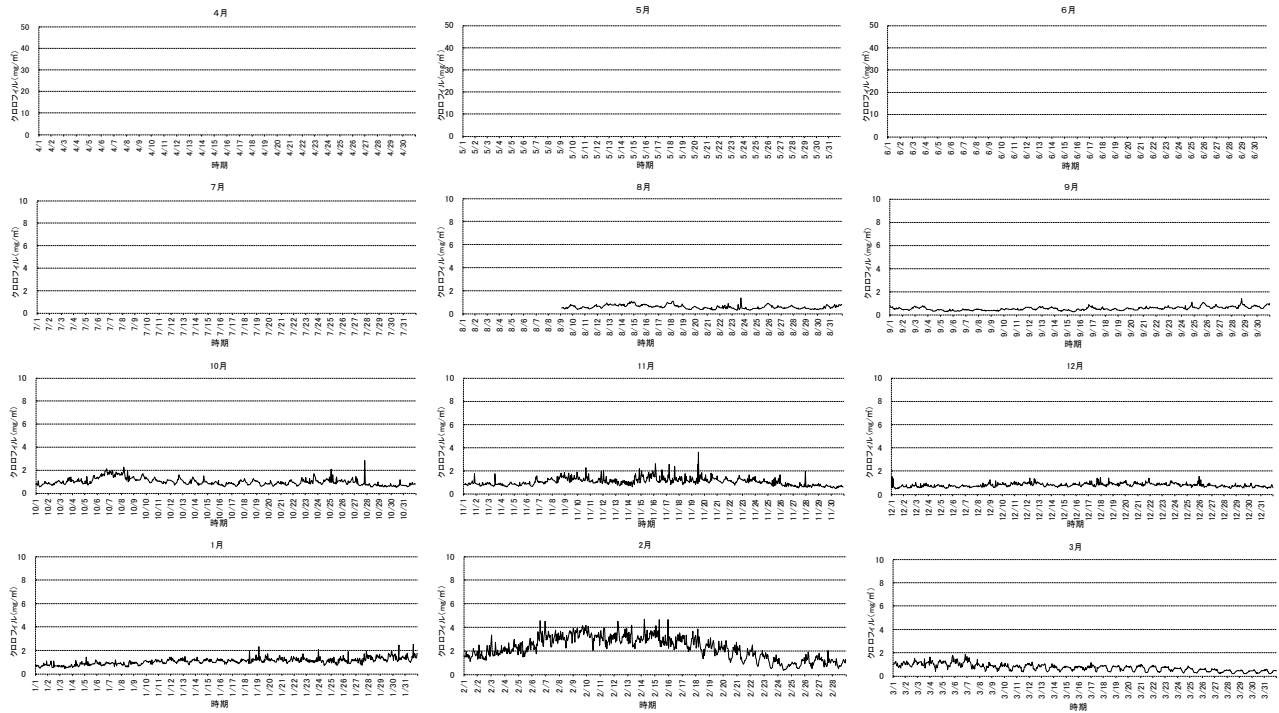


図 4-1. 平成 22 年度の久栗坂実験漁場の水深 10m 層におけるクロロフィル計によるクロロフィル量

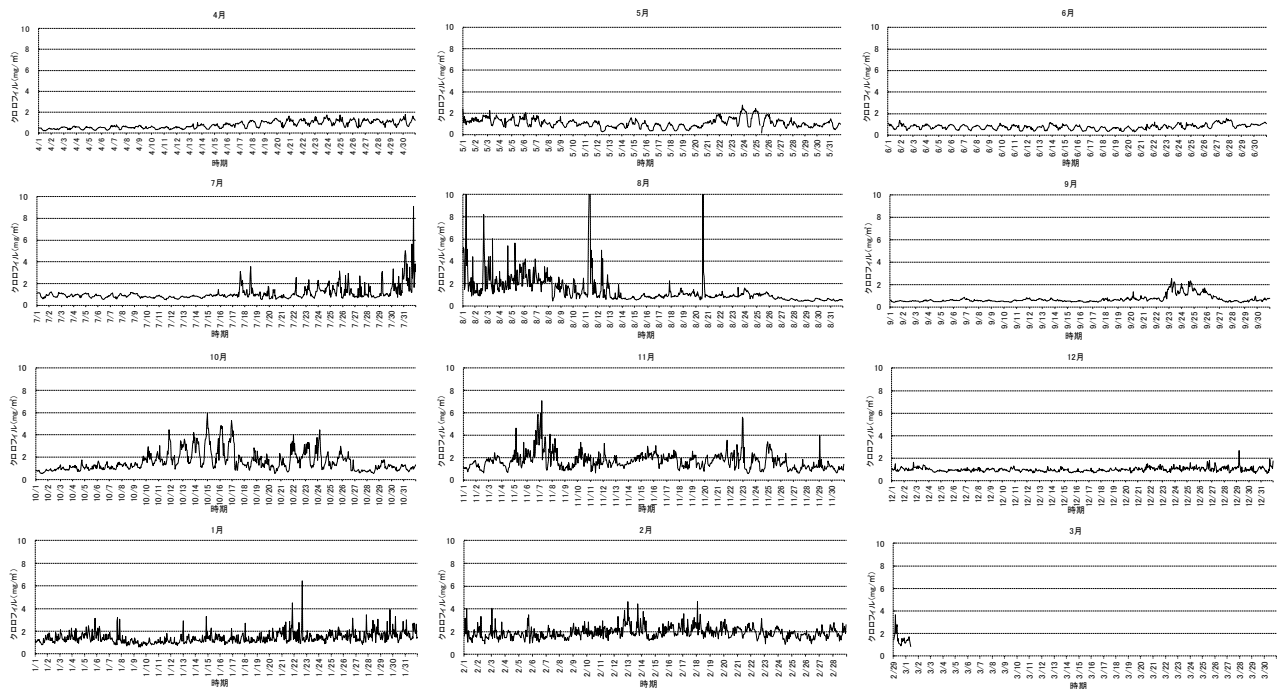


図 4-2. 平成 23 年度の久栗坂実験漁場の水深 10m 層におけるクロロフィル計によるクロロフィル量

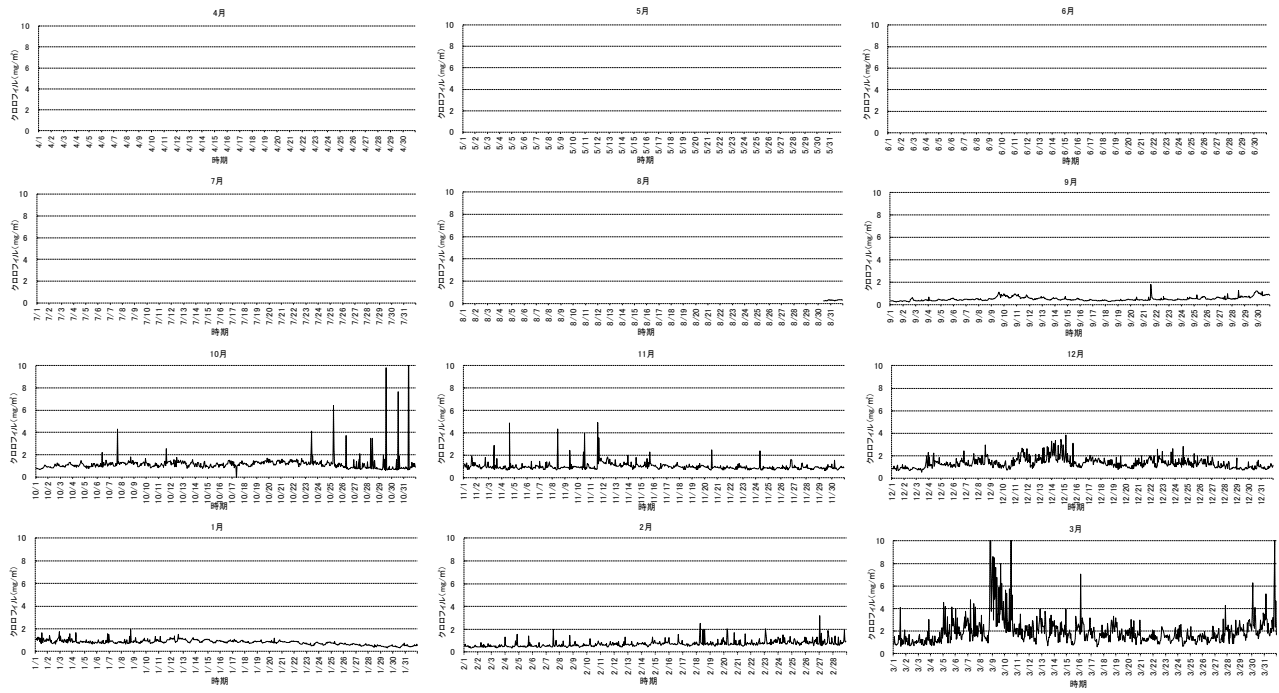


図 4-3. 平成 24 年度の久栗坂実験漁場の水深 10m 層におけるクロロフィル計によるクロロフィル量

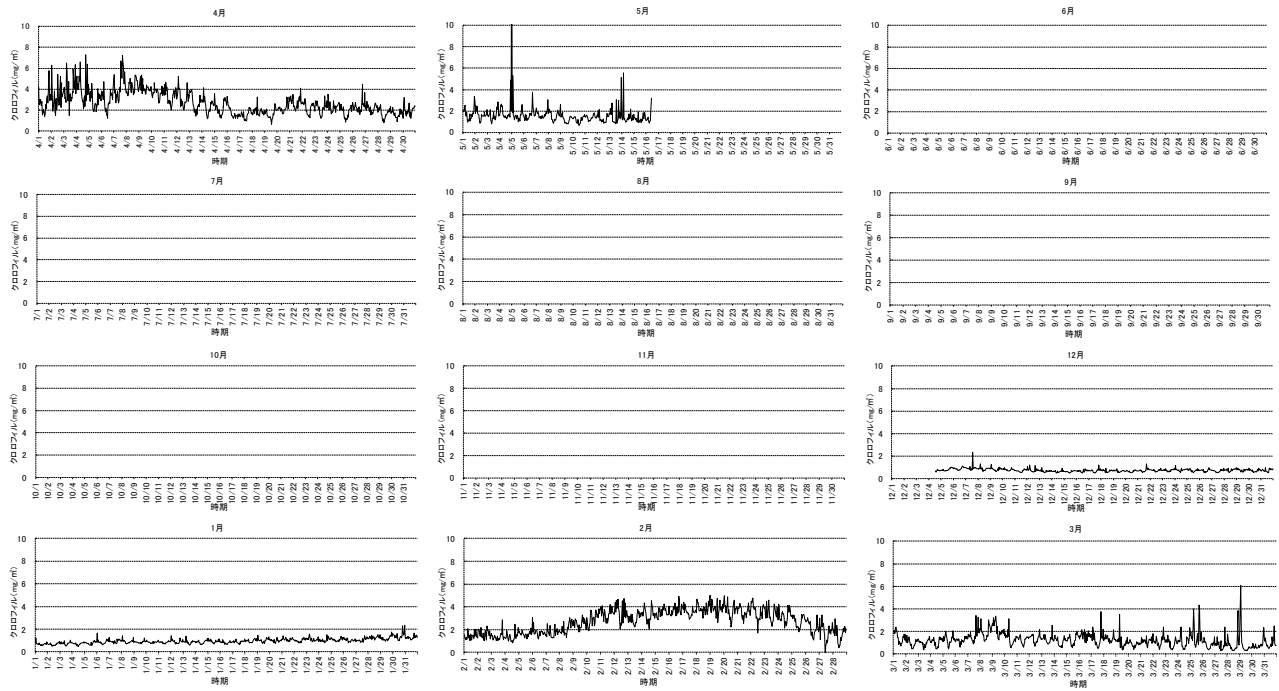


図 4-4. 平成 25 年度の久栗坂実験漁場の水深 10m 層におけるクロロフィル計によるクロロフィル量

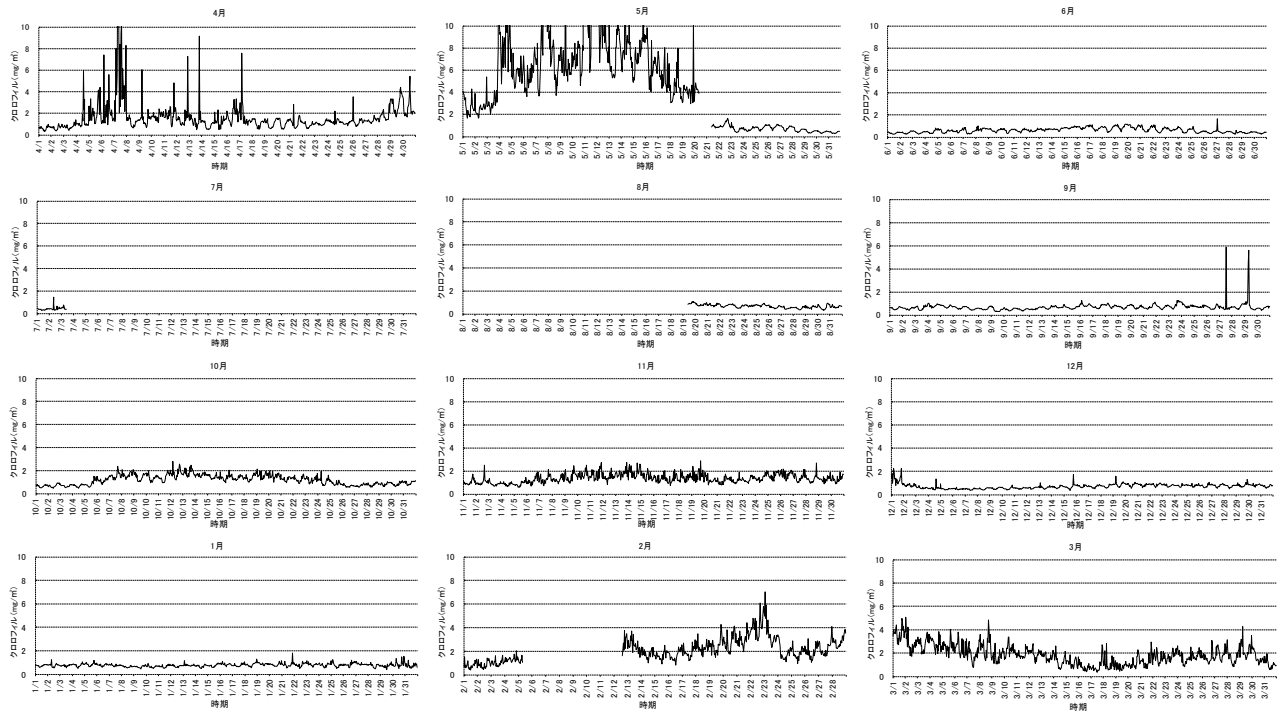


図4-5. 平成26年度の久栗坂実験漁場の水深10m層におけるクロロフィル計によるクロロフィル量

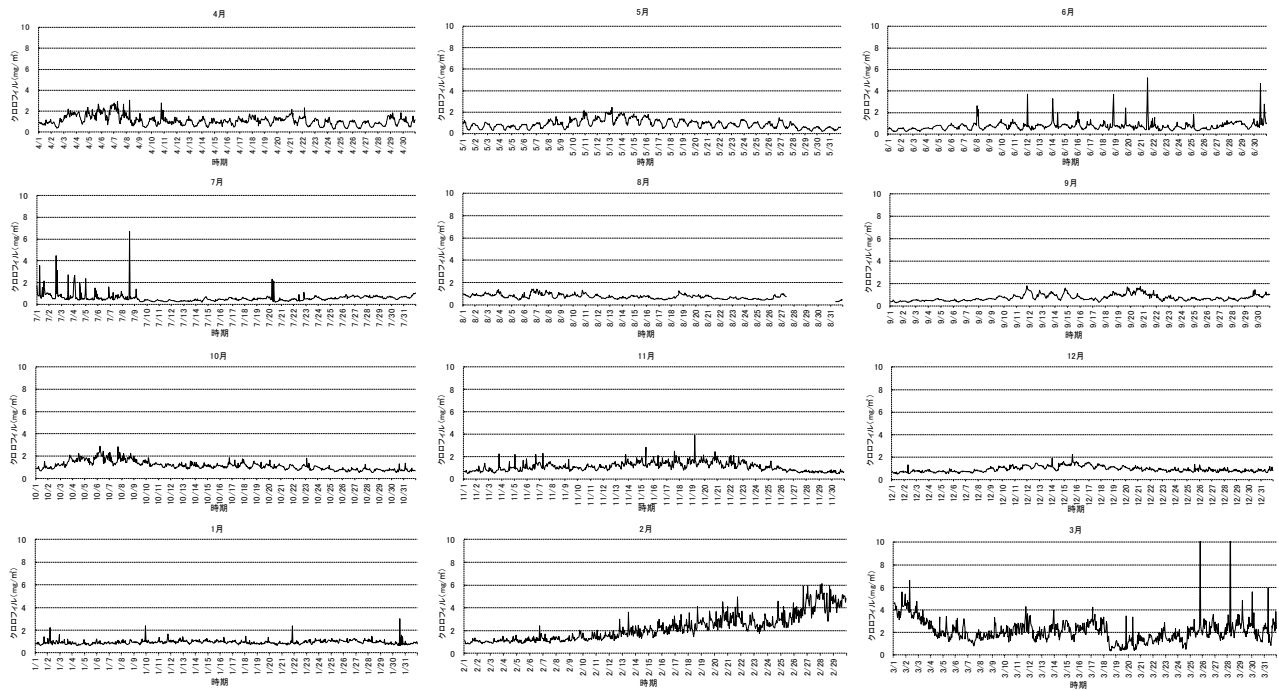


図4-6. 平成27年度の久栗坂実験漁場の水深10m層におけるクロロフィル計によるクロロフィル量

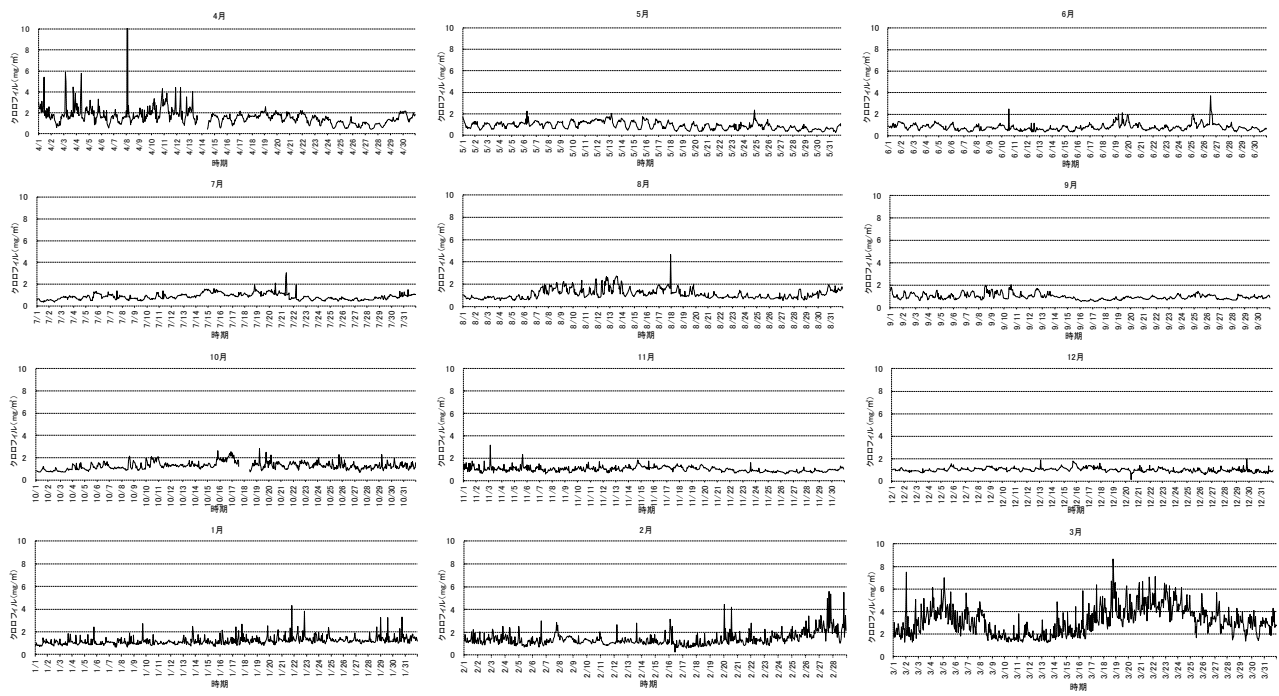


図4-7. 平成28年度の久栗坂実験漁場の水深10m層におけるクロロフィル計によるクロロフィル量

採水による分析値とクロロフィル計による測定値の関係を調べたところ、有意水準1%以下で有意な関係が見られた(図5)。成長予測には10月から翌年3月のデータを用いることから、同期間における関係を調べたところ、同年データよりも関係が強かった(図6)

これらのことから、クロロフィル計による測定値をホタテガイ養殖漁場の餌料環境データとして用いることが可能と考えられた。

なお、採水による分析値が同じであっても、クロロフィル計の測定値には1~2mg/m³の範囲でバラツキが見られたが、①久栗坂実験漁場における測定位置、測定水深、測定時間が微妙に異なること、②採水サンプルは蛍光分光光度計を用いて670nmの固定波長でクロロフィルa量を主に分析しているのに対して、クロロフィル計は650~950nmでクロロフィルa、b、c量を測定していることが原因と考えられた。

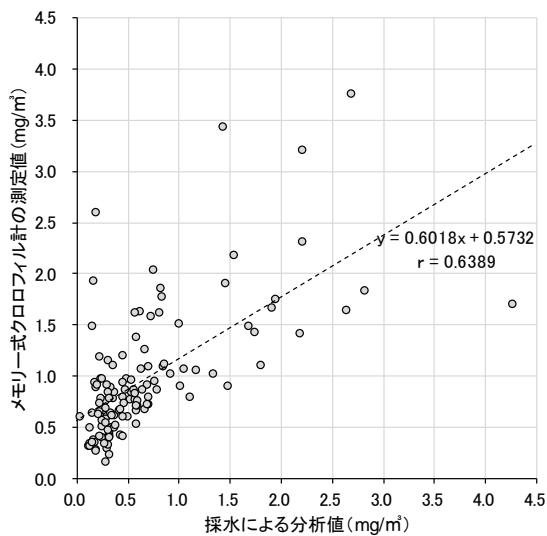


図5. 平成22~28年度の採水分析とクロロフィル計によるクロロフィル量(同年)

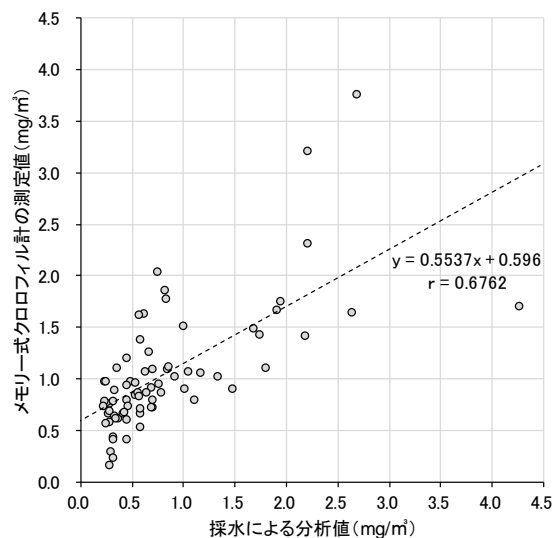


図6. 平成22~28年度の採水分析とクロロフィル計によるクロロフィル量(10~3月)

3. ホタテガイ成長予測モデルの精度向上

久栗坂及び川内実験漁場における9月1日から分散までの日数、稚貝分散時の殻長、パールネット1段当りの収容密度、9月1日から分散までの日数、12月～翌年3月の平均水温、10月～翌年3月の水深10m層のクロロフィル計及び採水分析による平均クロロフィル量、翌年4月のホタテガイ1年貝の全重量を表2に示した。なお、久栗坂実験漁場のクロロフィル計による平均クロロフィル量は、異常値及び欠測の少ない平成22年度、平成24年度、平成26年度、平成27年度、平成28年度のみを、川内実験漁場のクロロフィル計による平均クロロフィル量は観測を開始した平成28年度（図7）のみを示した。

表2. 成長予測モデルの作成に用いた久栗坂及び川内実験漁場における調査結果

場所	調査年度	秋の分散時殻長(mm)	収容密度(個体/段)	9月1日から分散までの日数(日)	12~3月の平均水温(°C)	クロロフィル計による10~3月の平均クロロフィル量(mg/m ³)	採水分析による10~3月の平均クロロフィルa(mg/m ³)	4月のホタテガイ全重量(g/個体)
久栗坂 実験漁場	平成18年度	23.2	15.0	28	8.61		1.38	52.5
	平成19年度	23.5	15.0	20	7.86		0.70	43.0
	平成20年度	27.1	15.0	30	9.15		0.98	56.9
		27.1	40.0	30	9.15		0.98	42.2
	平成21年度	27.8	15.0	29	8.29		0.78	48.1
		27.8	40.0	29	8.29		0.78	33.6
	平成22年度	19.9	14.7	68	7.29	1.13	0.99	31.9
		19.9	43.0	68	7.29	1.13	0.99	25.1
	平成23年度	27.5	15.3	42	6.21		1.11	45.1
		27.5	37.0	42	6.21		1.11	33.8
	平成24年度	17.5	11.7	39	7.83	1.18	0.83	29.0
		17.5	44.0	39	7.83	1.18	0.83	19.1
	平成25年度	18.9	13.7	36	6.92		0.88	31.2
		18.9	39.0	36	6.92		0.88	25.2
	平成26年度	20.4	15.7	28	8.65	1.28	0.86	45.3
		20.4	38.0	28	8.65	1.28	0.86	35.0
平成27年度	25.8	17.3	16	9.00	1.41	0.72	61.0	
	25.8	32.5	16	9.00	1.41	0.72	45.2	
平成28年度	27.2	13.0	11	8.53	1.53	0.52	46.6	
	27.2	27.0	11	8.53	1.53	0.52	39.5	
川内実 験漁場	平成27年度	27.1	15.0	3	6.75		0.89	62.4
	平成28年度	26.3	12.9	19	6.02	1.63	0.63	43.0
		26.3	18.3	19	6.02	1.63	0.63	44.5
		26.3	27.8	19	6.02	1.63	0.63	37.2
		26.3	37.0	19	6.02	1.63	0.63	34.3
		20.6	12.8	19	6.02	1.63	0.63	34.6
		20.6	35.2	19	6.02	1.63	0.63	26.2
		41.7	14.8	95	6.02	1.63	0.63	35.3
41.7	31.8	95	6.02	1.63	0.63	29.4		

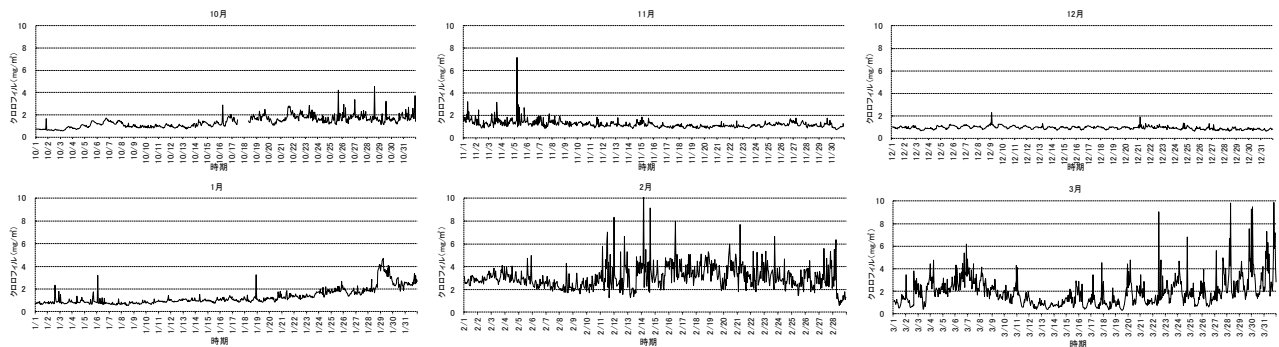


図7. 平成28年度の川内実験漁場の水深10m層におけるクロロフィル計によるクロロフィル量

採水分析による平均クロロフィル量を用いた場合の重回帰式（以下、採水分析モデル）を以下のとおり求めた。Yは全重量、Sは分散時殻長、Deは収容密度、Daは9月1日から分散までの日数、Tは水温、Cはクロロフィル量を示す。

$$Y=1.21 \times S - 0.413 \times De - 0.324 \times Da + 2.36 \times T + 20.3 \times C - 4.38$$

全重量の推定値と実測値は図8に示したとおり、決定係数（ R^2 ）は0.867であるが、サンプル数が29とやや少ないため、自由度調整済み決定係数（補正 R^2 ）は0.839であった。

同様にクロロフィル計による平均クロロフィル量を用いた場合の重回帰式（以下、クロロフィル計モデル）を以下のとおり求めた。

$$Y=0.805 \times S - 0.360 \times De - 0.210 \times Da + 3.32 \times T - 8.71$$

採水分析モデルと異なり、平均クロロフィル量が説明変数として無効であったほか、図9に示すとおり決定係数（ R^2 ）が0.758、自由度調整済み決定係数（補正 R^2 ）が0.684と採水分析モデルよりも低かった。これはサンプル数が18と少なかったためと考えられた。

重回帰分析に必要なサンプル数は一般的に説明変数の10倍程度とされていることから、両実験漁場におけるデータをさらに蓄積して再解析することとしたい。

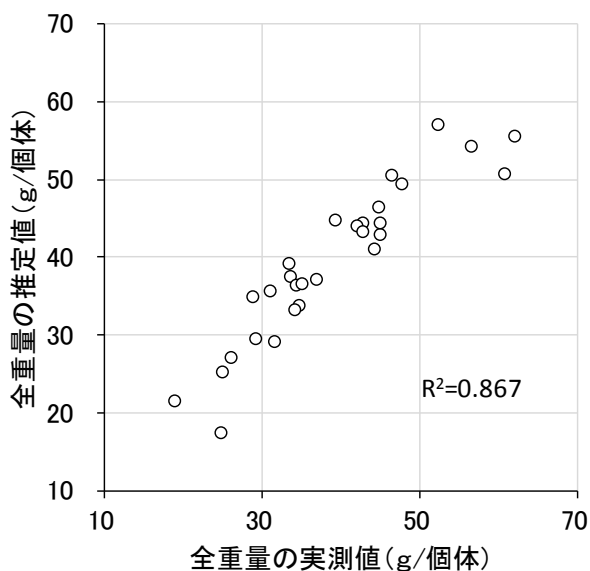


図8. 採水分析モデルを用いた4月の1年貝の全重量の推定値と実測値

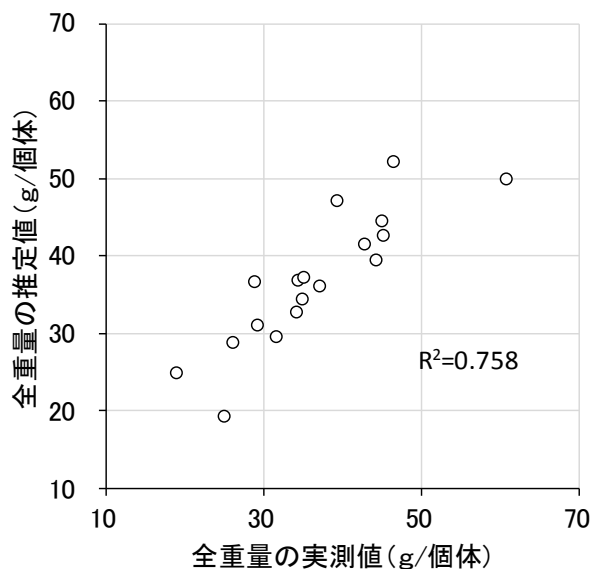


図9. クロロフィル計モデルを用いた4月の1年貝の全重量の推定値と実測値

文 献

- 1) Holm-Hansen O., Lorenzen C. J., Holmes R. W. and J. D. H. Strickland (1965) Fluorometric determination of chlorophyll. J. Cons. Cons. Int. Explor. Mer, 30, 3-15.