

2. 水質モニタリング（クロロフィル濃度調査）

金城孝一（沖縄県衛生環境研究所）・山川英治（沖縄県環境科学センター）

2-1. 目的

既存の研究から、オニヒトデの大量発生は初期生活史（浮遊幼生期および稚ヒトデ期）における生残率が高まることにより起きるとされ、生残率に影響を与えている要因としての植物プランクトン密度を示すクロロフィル量が挙げられる。オニヒトデの分布密度が慢性的に高い恩納村を中心に、沖縄島西海岸を調査対象として定期的な水質モニタリングを実施することで、オニヒトデの繁殖期にクロロフィル量が相対的に高くなりやすいかどうか、そして、クロロフィル量が幼生の生残を支えるために十分であるかどうかモニタリングすることを目的とする。また、クロロフィル量の変動をモニタリング調査によって把握し、沖縄県におけるオニヒトデ大量発生要因としての重要性を評価することを目的とする。

過年度のモニタリング結果から、一時的にはクロロフィル量は、オニヒトデ幼生の生残率が最大で半分をとる危険領域（ $0.25 \mu\text{g/L}$ 以上）に達するが、オニヒトデ幼生の浮遊時、常に危険領域に入っているとは限らずに、低い濃度で維持されている可能性があることを示した。しかし昨年度までのクロロフィル量とは、クロロフィル a のみを対象としていた。これはオニヒトデ幼生が、餌として主に生きた植物プランクトンを捕食していると考えたためであるが、本事業における様々な研究報告から、オニヒトデ幼生の餌として生きた植物プランクトンのみではなく、死んだ植物プランクトンなどの種々の有機物も取り込むことが示唆されている。そこで今年度からクロロフィル a（Chl. a）の分解生成物であり、死んだ植物プランクトン量の指標となるフェオフィチン a（Pheo. a）を新たに分析項目に加えた。コントロールを除く全ての地点および全ての採水日においてクロロフィル総量（クロロフィル a + フェオフィチン a）は、オニヒトデ幼生の生残率が最大で半分をとる危険領域（ $0.25 \mu\text{g/L}$ 以上）に達していた。

沖側に設定したコントロール地点でも $0.25 \mu\text{g/L}$ を超過することが比較的多くあるため、オニヒトデ幼生が沿岸付近から沖側に流されたとしても餌不足で死なず、さらに海流に乗りはるか遠方までオニヒトデ幼生が運搬される可能性がある。オニヒトデの大発生をモニタリングもしくは抑制するためには、大発生が起きている地域のみで水質管理・モニタリングを行うだけでは足りず、海流を考慮に加え広域的な水質管理・モニタリングが求められる。

2-2. 調査方法

採水地点は前項の栄養塩濃度調査と同地点の全 17 地点において同時期に実施した（図 3-1-1、表 3-1-2）。さらに、オニヒトデ幼生の分布密度とクロロフィル a 濃度の関係を把握するため、プランクトンネットによるサンプリング地点においてもクロロフィル a のサンプリングを実施した。

2-2-1. 蛍光強度野外測定

測定はメモリー式多項目水質計（アレック電子株式会社 コンパクト STD ASTD650）を用い、クロロフィル相当量（蛍光強度）を0.1m毎に測定した。多項目水質計による測定は、表層から海底から上に3m程度までとした。ただし、水深が50m以上の場合には、50m程度まで測定した。

2-2-2. クロロフィル a およびフェオフィチン a 濃度分析

試料水 1L（懸濁物が多い場合には 500 mL 程度、コントロール地点では 2L）を 47mm 径のワットマン GF/F フィルターにより採水現場で速やかにろ過し、ろ過後直ちにろ紙をネジロチューブに移し、DMF（N、N-Dimethylformamide）10 mL を加え、クロロフィル a を抽出した。また濁りが高く 1L のろ過が困難な場合は、ろ過量をラベルに記入した。抽出液は分析に供するまで冷蔵保存した。クロロフィル a およびフェオフィチン a 量の分析は、SHIMADZU 社製 RF-5300PC を用いて蛍光法（Holm-Hansen 法）により定量した。

2-3. 調査結果

2-3-1. 蛍光強度野外測定結果

各地点のメモリー式多項目水質計の蛍光強度の測定結果を図 3-2-1（1）～（12）に示す。表中の要注意濃度とは、クロロフィル a 量 = 0.25 $\mu\text{g/L}$ に相当する多項目水質計観測値（蛍光強度）で、平成 27 年度で考察した回帰直線から求められる値、0.183 を表している。

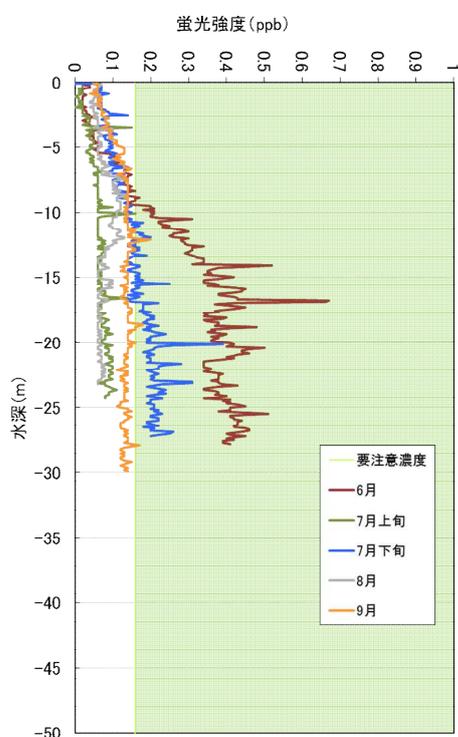


図3-2-1(1). 測定時期毎の蛍光強度。
(那覇港 3)

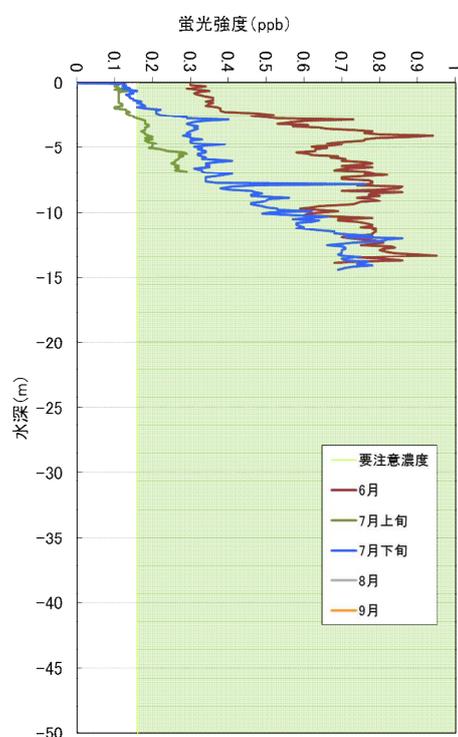


図3-2-1(2). 測定時期毎の蛍光強度。
(マリーナ沖)

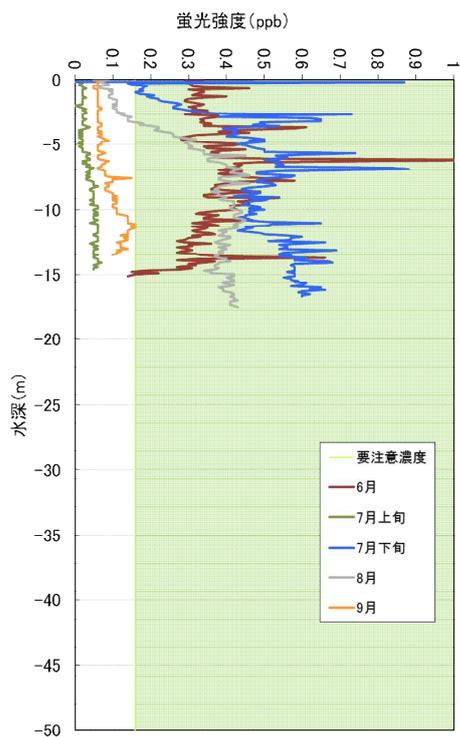


図3-2-1(3). 測定時期毎の蛍光強度.
(伊佐(沖))

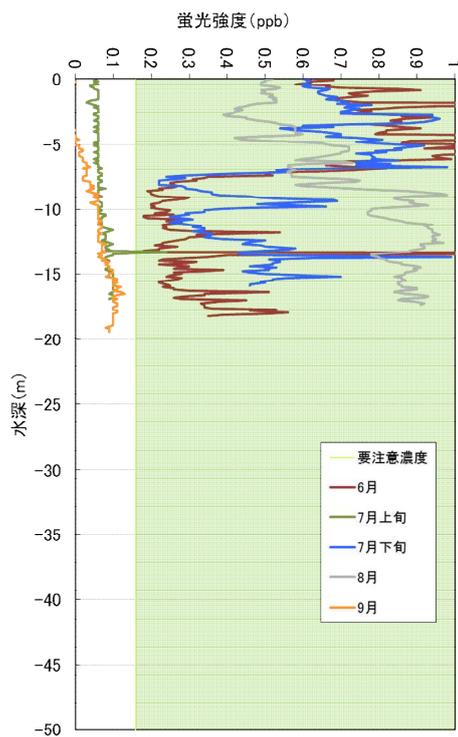


図3-2-1(4). 測定時期毎の蛍光強度.
(北谷)

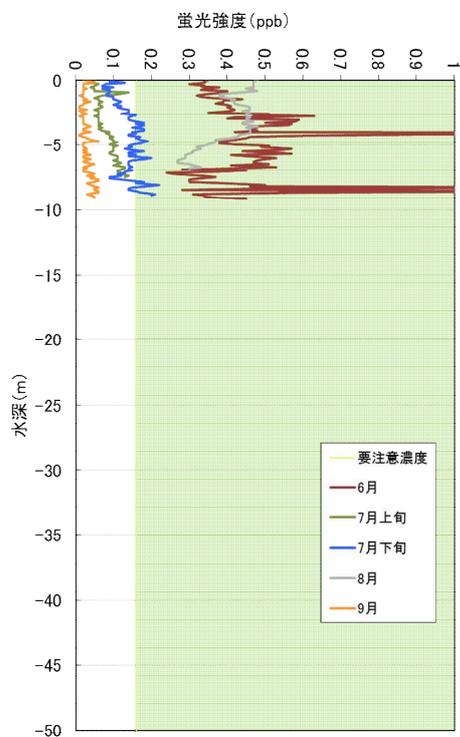


図3-2-1(5). 測定時期毎の蛍光強度.
(比謝川(北))

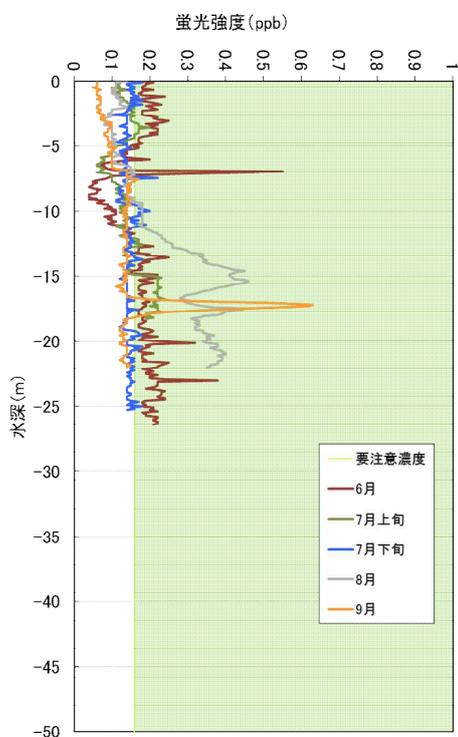


図3-2-1(6). 測定時期毎の蛍光強度.
(残波)

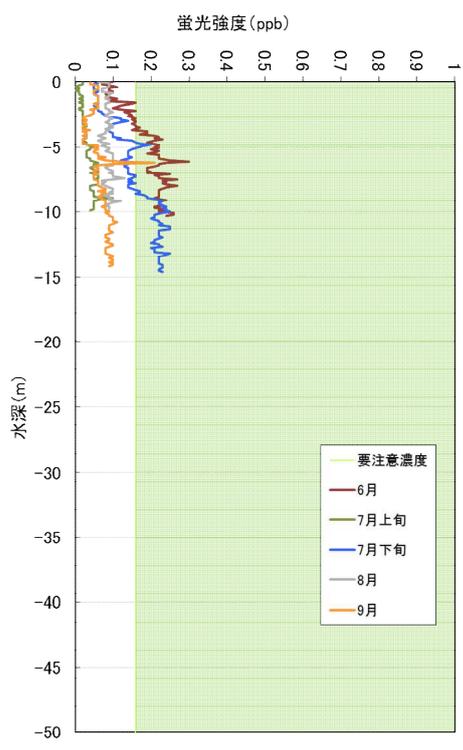


図3-2-1(7). 測定時期毎の蛍光強度.
(長浜)

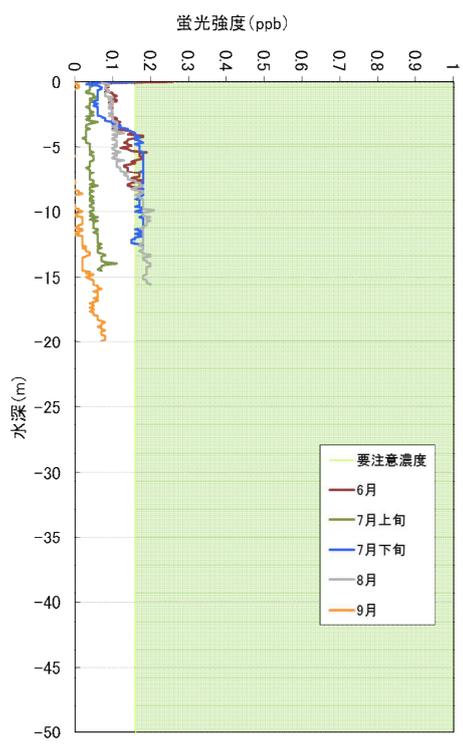


図3-2-1(8). 測定時期毎の蛍光強度.
(前兼久(沖))

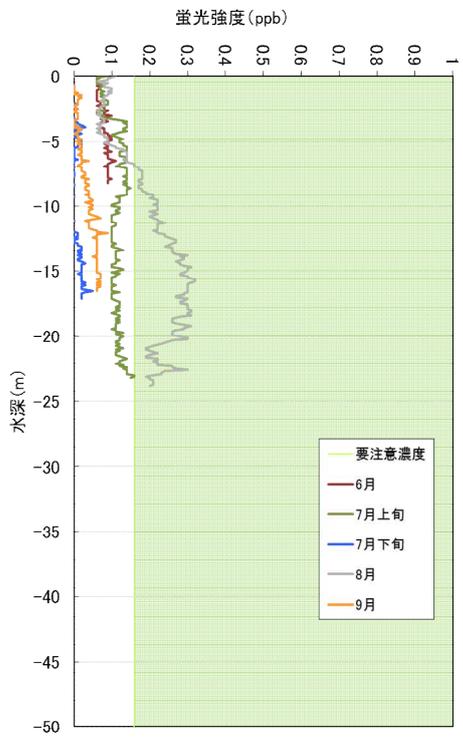


図3-2-1(9). 測定時期毎の蛍光強度.
(伊武部)

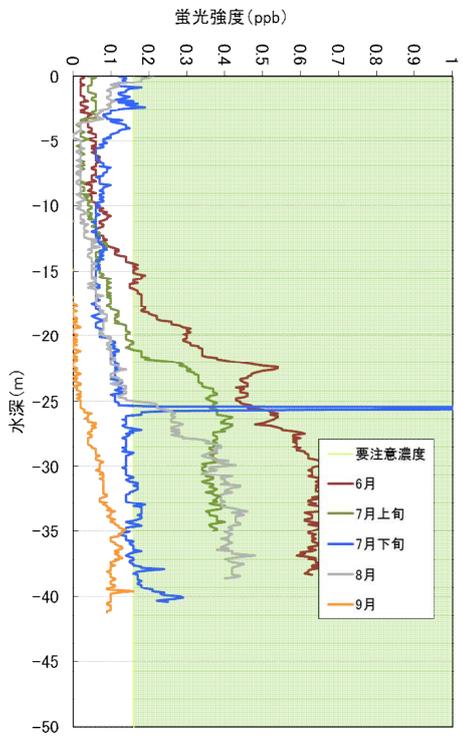


図3-2-1(10). 測定時期毎の蛍光強度.
(名護湾5)

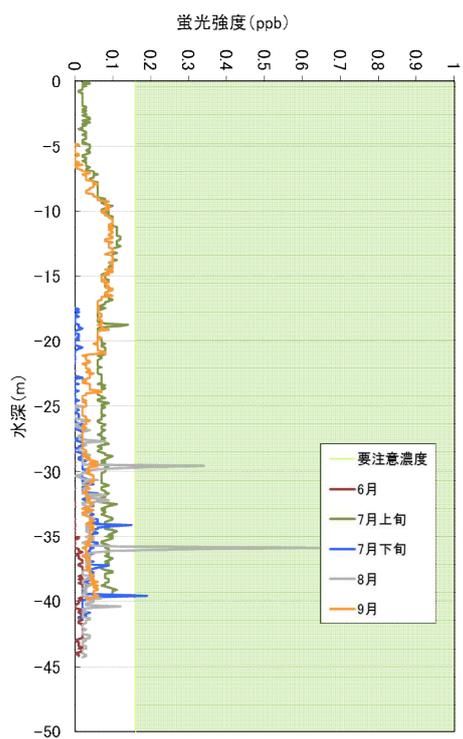


図3-2-1(11). 測定時期毎の蛍光強度.
(那覇-残波沖)

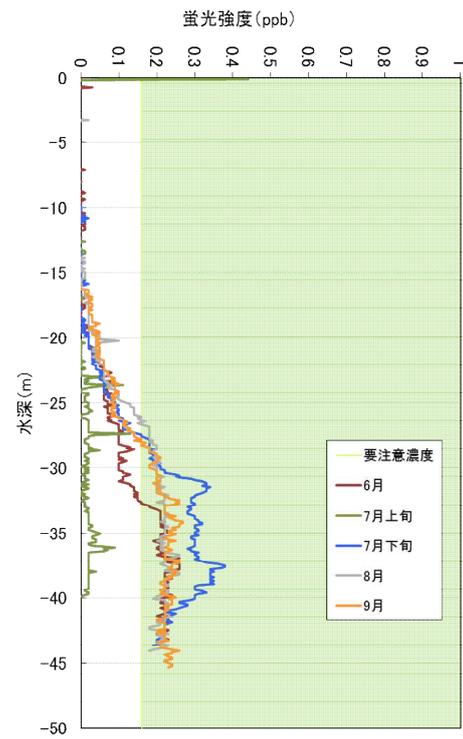


図3-2-1(12). 測定時期毎の蛍光強度.
(残波-名護沖)

2-3-2. クロロフィル a・フェオフィチン a 濃度分析結果

今年度サンプリングした分析結果を表3-2-1(1)～(3)に示す。

表3-2-1(1). クロロフィル a(Chl.a)分析結果.

	6/15	6/20	6/21	6/22	6/28	6/29	7/5	7/5	7/6	7/12	7/19	7/20
名護湾5				0.20				0.14				
伊武部				0.24				0.14				
かりゆし	0.23		0.20		0.20		0.21			0.12	0.09	
みゆきビーチ	0.29		0.35		0.22		0.26			0.19	0.15	
万座北	0.39		0.22		0.19		0.23			0.18	0.15	
万座南	0.32		0.44		0.20		0.34			0.22	0.26	
前兼久(沖)	0.53		0.22	0.28	0.27		0.19	0.13		0.13	0.14	
塩谷	0.27		0.17		0.23		0.15			0.16	0.14	
長浜	0.22		0.24	0.23	0.27		0.13	0.11		0.18	0.14	
残波		0.27				0.26			0.25			0.33
比謝川(北)		0.52				0.38			0.25			0.25
北谷P		1.01				0.69			0.18			1.06
伊佐(沖)		0.52				0.18			0.16			0.27
マリーナ沖P		0.57				0.32			0.23			0.35
那覇港3(沖)		0.12				0.17			0.14			0.21
那覇-残波		0.05				0.06			0.12			0.16
残波-名護湾				0.10				0.06				

	7/21	7/26	7/27	8/1	8/2	8/2	8/16	8/17	9/1	9/29	9/30
名護湾5	0.32			0.57							0.07
伊武部	0.15			0.25							0.08
かりゆし		0.21			0.26		0.11		0.09		
みゆきビーチ		0.20			0.15		0.09		0.10		
万座北		0.23			0.16		0.19		0.12		
万座南		0.19			0.56		0.15		0.08		
前兼久(沖)	0.37	0.28		0.26	0.31		0.16		0.10		0.07
塩谷		0.19			0.18		0.13		0.05		
長浜	0.31	0.26		0.29	0.20		0.13		0.07		0.12
残波			0.10	0.34				0.12		0.10	
比謝川(北)			0.17			1.01		0.14		0.09	
北谷P			0.96			1.23		0.11		0.09	
伊佐(沖)			0.26			0.36		0.08		0.13	
マリーナ沖P			1.06			0.38		0.85		0.13	
那覇港3(沖)			0.27			0.20		0.11		0.08	
那覇-残波			0.06			0.10				0.07	
残波-名護湾	0.13			0.08							0.04

表3-2-1(2). フェオフィチン a(Pheo.a)分析結果.

	6/15	6/20	6/21	6/22	6/28	6/29	7/5	7/5	7/6	7/12	7/19	7/20
名護湾5				0.26				0.18				
伊武部				0.35				0.20				
かりゆし	0.80		0.41		0.34		0.36			0.27	0.16	
みゆきビーチ	0.88		0.36		0.38		0.37			0.35	0.21	
万座北	1.25		0.30		0.36		0.45			0.40	0.25	
万座南	1.02		0.61		0.32		0.51			0.44	0.36	
前兼久(沖)	1.68		0.49	0.36	0.52		0.39	0.24		0.24	0.22	
塩谷	0.92		0.43		0.48		0.42			0.42	0.34	
長浜	0.77		0.31	0.27	0.49		0.24	0.19		0.22	0.17	
残波		0.30				0.30			0.43			0.34
比謝川(北)		0.56				0.68			0.70			0.19
北谷P		0.88				1.14			0.34			0.94
伊佐(沖)		0.48				0.27			0.34			0.31
マリーナ沖P		0.63				0.47			0.46			0.31
那覇港3(沖)		0.18				0.26			0.32			0.40
那覇-残波		0.07				0.07			0.28			0.18
残波-名護湾				0.16				0.11				

	7/21	7/26	7/27	8/1	8/2	8/2	8/16	8/17	9/1	9/29	9/30
名護湾5	0.39			0.61							0.20
伊武部	0.26			0.33							0.30
かりゆし		0.36			0.35		0.27		0.25		
みゆきビーチ		0.26			0.16		0.23		0.33		
万座北		0.43			0.24		0.46		0.36		
万座南		0.34			1.50		0.31		0.32		
前兼久(沖)	0.44	0.40		0.41	0.38		0.40		0.29		0.24
塩谷		0.28			0.44		0.44		0.21		
長浜	0.36	0.28		0.37	0.26		0.39		0.32		0.36
残波			0.20	0.53				0.31		0.40	
比謝川(北)			0.27			1.58		0.51		0.32	
北谷P			1.53			1.92		0.33		0.26	
伊佐(沖)			0.32			0.47		0.24		0.38	
マリーナ沖P			1.46			0.63		1.21		0.54	
那覇港3(沖)			0.46			0.39		0.33		0.31	
那覇-残波			0.11			0.19				0.24	
残波-名護湾	0.15			0.13							0.12

表3-2-1(3). クロロフィル総量(CHL)分析結果.

	6/15	6/20	6/21	6/22	6/28	6/29	7/5	7/5	7/6	7/12	7/19	7/20
名護湾5				0.46				0.32				
伊武部				0.59				0.33				
かりゆし	1.03		0.61		0.54		0.57			0.39	0.25	
みゆきビーチ	1.17		0.70		0.60		0.62			0.54	0.36	
万座北	1.64		0.52		0.56		0.68			0.58	0.40	
万座南	1.34		1.05		0.52		0.85			0.66	0.62	
前兼久(沖)	2.21		0.72	0.65	0.79		0.57	0.38		0.38	0.36	
塩谷	1.19		0.60		0.71		0.57			0.59	0.48	
長浜	0.99		0.54	0.50	0.75		0.36	0.30		0.40	0.32	
残波		0.57				0.56			0.68			0.67
比謝川(北)		1.07				1.06			0.95			0.44
北谷P		1.90				1.83			0.52			2.00
伊佐(沖)		1.00				0.46			0.50			0.58
マリーナ沖P		1.21				0.79			0.70			0.66
那覇港3(沖)		0.30				0.43			0.46			0.61
那覇-残波		0.12				0.14			0.39			0.34
残波-名護湾				0.26				0.17				

	7/21	7/26	7/27	8/1	8/2	8/2	8/16	8/17	9/1	9/29	9/30
名護湾5	0.71			1.18							0.26
伊武部	0.41			0.58							0.38
かりゆし		0.57			0.61		0.38		0.34		
みゆきビーチ		0.46			0.31		0.32		0.43		
万座北		0.66			0.40		0.64		0.48		
万座南		0.53			2.06		0.46		0.40		
前兼久(沖)	0.81	0.68		0.68	0.69		0.56		0.39		0.31
塩谷		0.47			0.62		0.56		0.26		
長浜	0.68	0.54		0.66	0.46		0.52		0.39		0.48
残波			0.30	0.87				0.43		0.50	
比謝川(北)			0.44			2.59		0.65		0.42	
北谷P			2.49			3.15		0.44		0.34	
伊佐(沖)			0.58			0.82		0.32		0.51	
マリーナ沖P			2.52			1.01		2.07		0.67	
那覇港3(沖)			0.74			0.59		0.44		0.38	
那覇-残波			0.17			0.30				0.31	
残波-名護湾	0.28			0.21							0.16

2-4. 考察

2-4-1. 平成 28 年度分析結果

今年度のクロロフィル a (Chl. a)、フェオフィチン a (Pheo. a) およびクロロフィル総量 (CHL : Chl. a + Pheo. a) の分析結果概要を表 3-2-2 にまとめた。Chl. a の幾何平均は 0.19 $\mu\text{g/L}$ と過年度の報告と同様に、オニヒトデ幼生の生残率が最大で半分をとる危険領域 (0.25 $\mu\text{g/L}$ 以上) を超過せずに比較的低い値であったが、Pheo. a の幾何平均が 0.36 $\mu\text{g/L}$ と危険領域 (0.25 $\mu\text{g/L}$ 以上) を超過している。従って総和である CHL の幾何平均は 0.56 $\mu\text{g/L}$ と高い値となった。抽出溶媒中における Chl. a および Pheo. a の存在比 (Pheo. a / Chl. a) は平均値で 1.86 となり、Pheo. a が Chl. a の約 2 倍存在していることを示している。これは降雨により陸域から流入した栄養塩類により増殖した植物プランクトンが、その後の栄養塩類の減少により死んでしまったこと、抽出から分析までの期間で Pheo. a への分解が進行した可能性が考えられる。環境水中では Chl. a のほうが Pheo. a より高くなる報告が多いため、Pheo. a が多く存在する理由について今後の検討課題の一つである。

オニヒトデ幼生が、餌として生きた植物プランクトンを選択的に捕食していると考えていたが、本事業における様々な研究報告から、オニヒトデ幼生の餌として生きた植物プランクトンのみではなく、死んだ植物プランクトンなど種々の有機物も取り込むことが示唆されている。そのため Chl. a のみ水質を評価するのではなく、クロロフィル総量 (CHL : Chl. a + Pheo. a) を用いて考察および評価した方が妥当だと考えられる。CHL の幾何平均は 0.56 $\mu\text{g/L}$ (中央値も同様に 0.56 $\mu\text{g/L}$) と高く、オニヒトデ幼生の生残率が最大で半分をとる危険領域 (0.25 $\mu\text{g/L}$ 以上) に達していないサンプル 6 件はすべてコントロール地点 (「那覇-残波沖 (6 検体中 3 件)」および「残波-名護沖 (4 検体中 3 件)」) であった。沿岸域では全ての検体で危険領域に入る 0.25 $\mu\text{g/L}$ を超過しており、オニヒトデ浮遊時期にはほとんどの期間において、危険領域であったと考えられる。またコントロール地点でも 0.25 $\mu\text{g/L}$ を超過することが比較的多くあるため、オニヒトデ幼生が沿岸付近から沖側に流されたとしても餌不足で死なず、さらに海流に乗りはるか遠方までオニヒトデ幼生が運搬される可能性がある。従ってオニヒトデの大発生をモニタリングもしくは抑制するためには、大発生が起きている地域のみで水質管理・モニタリングを行うだけでは足りず、海流を考慮に加え広域的な水質管理・モニタリングが求められる。

表 3-2-2. 平成 28 年度モニタリング結果概要(クロロフィル).

	算術平均	幾何平均	サンプル数	標準偏差	標準誤差	最小値	最大値	中央値	範囲	0.25 $\mu\text{g/L}$ 未滿	
Chl.a	0.25	0.19	150	0.21	0.02	0.04	1.23	0.19	1.19	100	67%
Pheo.a	0.43	0.36	150	0.32	0.03	0.07	1.92	0.34	1.85	32	21%
CHL	0.68	0.56	150	0.51	0.04	0.12	3.15	0.56	3.03	6	4%
Pheo.a / Chl.a	2.01	1.86	150	0.85	0.07	0.78	4.44	1.76	3.66		
※参考											
Chl.a (H27)	0.27	0.21	229	0.27	0.02	0.05	3.09	0.20	3.04	151	66%

2-4-2. 地点ごとにクロロフィルの分布

今年度モニタリングを実施した17地点のクロロフィル分析結果のボックスプロットを図3-2-2に示す。

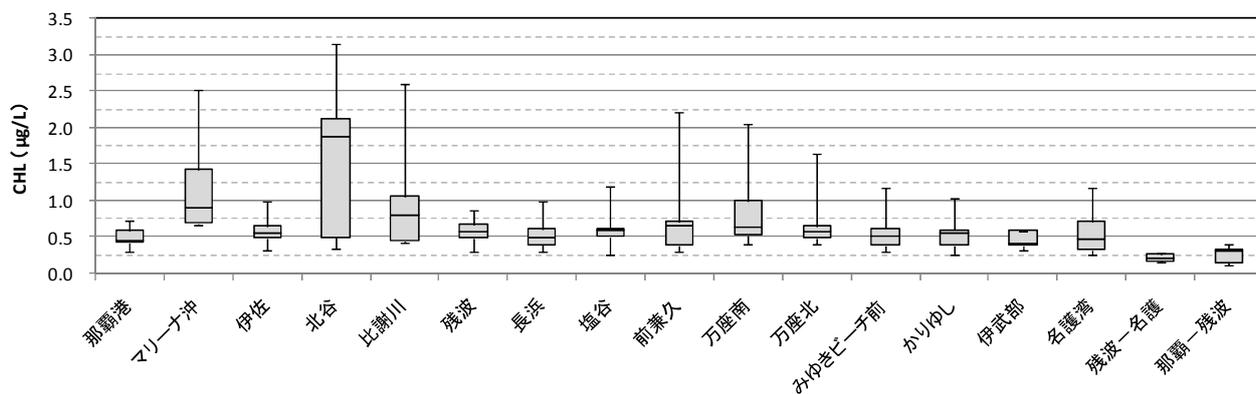


図3-2-2. 各地点におけるクロロフィル総量のボックスプロット(平成28年度分析結果).

過年度の報告書において、残波岬を境にその南北で水質に有意な差があり、南側では比較的高くなり北側では比較的低くなること、またこれは隣接する陸域の土地利用の影響を受けており、河川の規模や市街地からの生活排水に起因している可能性を報告した。今年度のCHL分析結果でも同様に、残波岬より南側で隣接する陸域が市街地であり、比較的大きな河川の近傍である「マリーナ沖」、「北谷」、「比謝川」の地点では平均して高く、また分布幅も比較的広い。コントロールを除いたその他の地点においては、分布幅や平均等に多少の相違はみられるものの有意な差は確認できなかった。コントロール地点である「那覇-残波」および「残波-那覇」の2地点は、他の15地点と比較して有意に低く、過年度の報告と同様であった。

2-4-3. クロロフィルの経年変化.

本事業では平成25年度からChl. aのモニタリングを継続している。図3-2-3に各年度のChl. a分析結果のボックスプロットを示す。調査地点の違いによる影響を避けるため、平成25年度から継続してモニタリングしている8地点の結果を用いた。平均値や中央値を比較すると平成25年度および平成27年度は比較的高く、平成26年度および平成28年度は比較的低くなるという、高低を1年ごとに繰り返していることがうかがえる。この変化が調査日違いや降雨等の気象による影響なのか、未解析の部分が残っているため、今後の課題である。

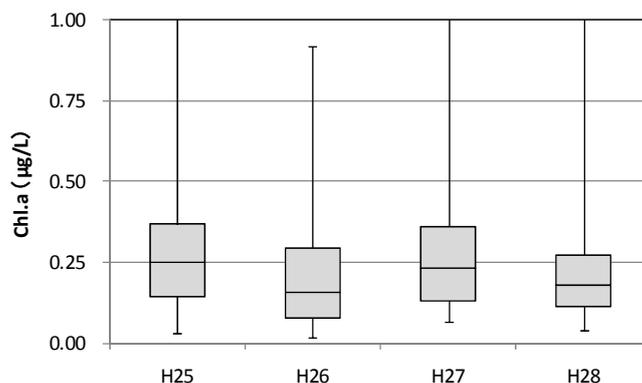


図3-2-3. 各年度におけるクロロフィル a 分析結果のボックスプロット図.

2-4-4. 室内分析結果と多項目水質計との関係

昨年度（H27）の報告書において、多項目水質計の蛍光量（クロロフィル相当量）の観測結果および室内分析（クロロフィル a 量）の結果には良い相関があり、水深 160 cm-200 cm の中央値を用いた場合が、最も相関が高くなり相関係数 $R = 0.709$ と報告した。相関がさらに高くない要因として、太陽光などの反射等による影響や多項目水質計受光部の構造によりフェオフィチン a を観測しているためなどが挙げられた。今年度よりフェオフィチン a を分析していることから、室内分析結果と多項目水質計の観測値との関係について再考した。図 3-2-4 から図 3-2-6 に室内分析結果と多項目水質計の観測値の関係（散布図）をそれぞれ示す。

Pheo. a と多項目水質計観測値との間には良い相関が確認でき、CHL や Chl. a と多項目水質計観測値との間には非常に良い相関がある（CHL vs. 多項目水質計： $R = 0.84$ 、Chl. a vs. 多項目水質計： $R = 0.91$ ）。昨年度は低濃度（ $\sim 1.0 \mu\text{g/L}$ ）で団子状の分布となり、直線性が低い結果となったが、今年度は Chl. a、Pheo. a および CHL のいずれにおいても低濃度でも比較的直線性が高い。昨年度の結果と相違が生じた理由について、明らかにする必要はあるが、今後とも継続して同様な直線性が得られるのであれば、多項目水質計の製造メーカーが推奨していないクロロフィル低濃度域でも、精度よくモニタリングできると考えられる。

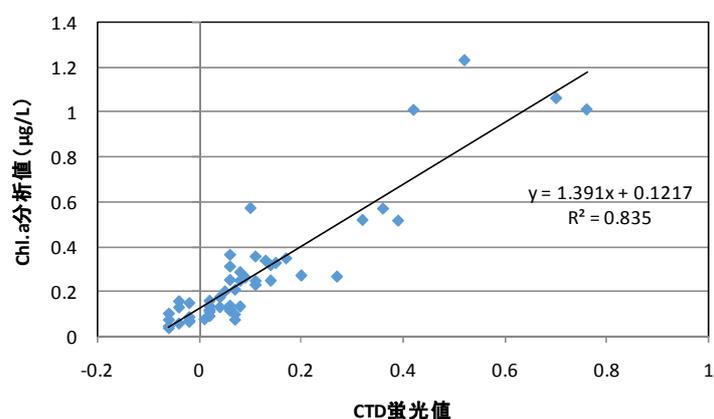


図3-2-4. Chl.a と多項目水質計観測値との関係. 相関係数 $R = 0.91$.

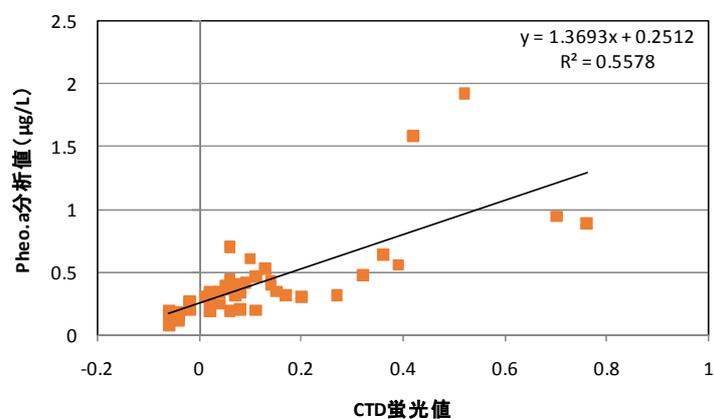


図3-2-5. Pheo.a と多項目水質計観測値との関係. 相関係数 $R = 0.75$.

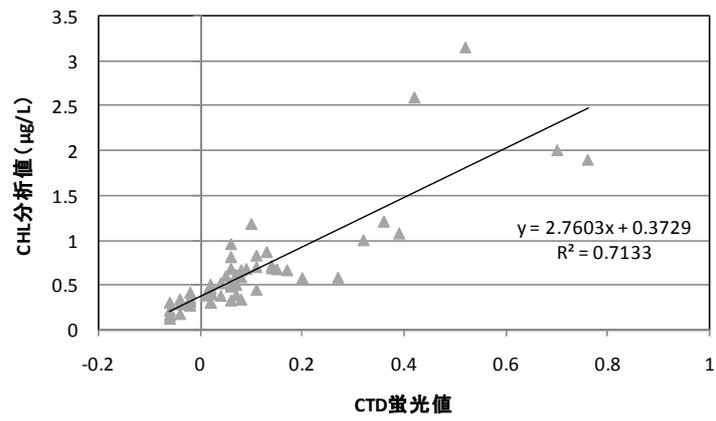


図3-2-6. CHL と多項目水質計観測値との関係. 相関係数 $R = 0.84$.