

## 第3章 オニヒトデ大量発生メカニズムの解明に関する調査研究業務

### 1. 栄養塩濃度調査

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）

#### 1-1. 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餌料としての植物プランクトン密度を示すクロロフィルa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a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a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、オニヒトデ幼生の分布状況とクロロフィルa量などの水質との関係を把握することで、沖縄県におけるオニヒトデ大量発生要因における水質の寄与について評価することを目的とする。

昨年度までのモニタリング結果から、一時的にはOkaji (1996) やFabricius et al. (2010) が報告している、クロロフィル量とオニヒトデ幼生の生残率が最大で半分となる危険領域 ( $0.25 \mu\text{g/L}$  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。オニヒトデ産卵期（6月～8月）の水質状況をより詳細に把握するため、今年度のモニタリングは、オニヒトデの産卵期に合わせて集中的にモニタリングを計画し実施した。また、DOCがオニヒトデ幼生の餌となる可能性が示唆されたため、DOCを構成する物質、遊離アミノ酸および単糖類の分析法を検討し、分析を試みた。

#### 1-2. 調査方法

##### 1-2-1. 採水方法（採水地点や日程等）

###### (1) 採水地点

調査対象地域は平成26年度までと同様に沖縄島西海岸（那覇～名護）と変更はないが、平成26年度までの水質調査結果およびオニヒトデ幼生の発生地域を考慮し、調査地点を23地点から13地点に変更した（図3-1-1）。今年度実施したモニタリング状況を表3-1-1にまとめた。

###### (2) 採水計画

平常時の定期モニタリングとして、オニヒトデ幼生が浮遊する時期に合うように、6月から9月にかけて6回、表層水の採水およびCTDによる鉛直調査を実施した（表3-1-1）。

表3-1-1. 平成 27 年度の採水日および採水状況.

地点名	1回目		2回目		3回目		4回目		5回目		6回目	
	6/20-21		6/29, 7/4		7/22, 7/23		7/31, 8/1		8/12, 8/13		9/1-9/3	
	ろ過無	濾過有	ろ過無	濾過有	ろ過無	濾過有	ろ過無	濾過有	ろ過無	濾過有	ろ過無	濾過有
那覇港3(沖)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
キャンプキンザー	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
伊佐(沖)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
北谷(岸)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	x*	○
比謝川(北)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
残波	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
長浜	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
前兼久(沖)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
屋嘉田(沖)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
伊武部	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
名護湾5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
残波-名護湾	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
那覇-残波	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※6 回目の「北谷(沖)」の検体は、搬送中に破損したため、水質分析が不可能となった。

凡例

- クロロフィル調査のみ
- ★ 水質調査およびクロロフィル調査



図3-1-1. 調査地点.

### (3) 採水方法

採水方法は以下の①～⑥の手順で行った。

- ①船上から表層の海水をバケツで採水した。木の葉やビニールなど異物があれば取り除き、共洗いを2～3回行った。
- ②バケツで採水した海水は、共洗い後、500ml ガラス瓶とメスシリンダー、1L のポリ容器に移した。
- ③バケツから 500ml ガラス瓶に移し入れた海水は、各地点のラベルを張り、保冷剤入りのクーラーボックスで保管した（無濾過海水）。
- ④メスシリンダーに移した海水は 47mm 径のメンブレンフィルター（ $0.45\mu\text{m}$ ）でろ過し、ろ液でガラス瓶を共洗い後、500ml のガラス瓶に移し、各地点のラベルを張り、保冷剤入りのクーラーボックスで保管した（濾過海水）。
- ⑤④まで終わったら、メスシリンダー、1L のポリ容器、ろ過器を蒸留水で洗浄した。



図3-1-2. 採水状況.

### (4) 多項目水質計によるモニタリング

メモリー式多項目水質計（CTD : Conductivity Temperature Depth profiler）を用いて、濁度、塩分、水温を測定した。CTD による測定は、表層から底層（海底から上に 3 m 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。

## 1-2-2. 分析方法

採水したサンプルの分析項目は、前年度（H26）と同様の全窒素（TN）、溶存態全窒素（DTN）、溶存態無機態窒素（DIN：ここでDINは、硝酸+亜硝酸+アンモニアの各分析値の合計とした）、全リン（TP）、溶存態全リン（DTP）、リン酸（DIP）、濁度（Trb.）、全有機炭素（TOC）、溶存態有機炭素（DOC）の9項目を基本とした。さらに、オニヒトデ幼生の餌として植物プランクトン以外の物質が示唆されたため、DOCの構成物質探索のための遊離アミノ酸（AA）および単糖類（MS）を新たに分析項目として追加するために、両分析方法の検討を行った。

栄養塩およびクロロフィルの分析に必要なろ過作業は採水後直ちに行い、その後、ろ過サンプルを実験室に持ち帰り分析に供した。なお、溶存態とは0.45 μmメンブランフィルターを透過した物質とした。また各分析項目の定量下限値はそれぞれ、TN、DTNは0.03 mg/L、TP、DTP、DIPは0.003 mg/L、DINは0.002 mg/L、TOC、DOCは0.10 mg/L、Chl. aは0.05 μg/L（1Lをろ過した場合）、Trb.は0.01度とした。各分析項目に係る分析方法を表3-1-2にまとめた。

表3-1-2. 分析項目および分析方法.

分析項目	分析方法
TN(全窒素)	流れ分析法(JIS K 0170-3 : 2011) ペルオキシ二硫酸カリウム分解・カドミウム還元吸光光度法に準拠 ※BL-TEC 社製 オートアナライザーSWATT 型により分析
DTN(溶存態全窒素)	流れ分析法(JIS K 0170-3 : 2011) ペルオキシ二硫酸カリウム分解・カドミウム還元吸光光度法に準拠 ※BL-TEC 社製 オートアナライザーSWATT 型により分析
DIN(硝酸および亜硝酸)	流れ分析法(JIS K 0170-2 : 2011) 塩酸酸性ナフチルエチレンジアミン発色法に準拠 ※BL-TEC 社製 オートアナライザーSWATT 型により分析
DIN(アンモニア)	o-phenylphenol を用いたインドフェノール青法 Kanda J (1995) Wat. Res., 29, 2746 - 2750 を参考 ※日本分光社製 V-650 により分析
TP(全リン)	流れ分析法(JIS K 0170-4 : 2011) 酸化分解前処理モリブデン青発色法に準拠 ※BL-TEC 社製 オートアナライザーSWATT 型により分析
DIP(リン酸)	流れ分析法(JIS K 0170-4 : 2011) モリブデン青発色法に準拠 ※BL-TEC 社製 オートアナライザーSWATT 型により分析
濁度	積分球式光電光度法(ポリスチレン標準) ※日本電色工業社製 Water Analyzer 2000N により分析
TOC(全有機炭素)	塩酸添加・通気処理による680°C燃焼触媒酸化法 ※SHIMADZU 社製 TOC-V CPH により分析
DOC(溶存態有機炭素)	塩酸添加・通気処理による680°C燃焼触媒酸化法 ※SHIMADZU 社製 TOC-V CPH により分析

遊離アミノ酸(AA)	<p>アミノ酸と <i>o</i>-フタルアルデヒド(OPA)と反応させ、その反応生成物の蛍光を測定する方法</p> <p>日本海洋学会編 沿岸環境調査マニュアルⅡ(1990)を参考</p> <p>※SHIMADZU 社製 RF-5300PC により分析</p>
単糖類(MS)	<p>TPTZ 法(2,4,6-トリピリジル-s-トリアジンを用いる方法)</p> <p>Oliver W (2009)を参考</p> <p>※日本分光社製 V-650 により分析</p>

### 1-3. 調査結果

#### 1-3-1. 多項目水質計による野外測定結果

各地点のメモリー式多項目水質計（CTD）の濁度および塩分の観測結果を図3-1-5（1）～（13）に示す。

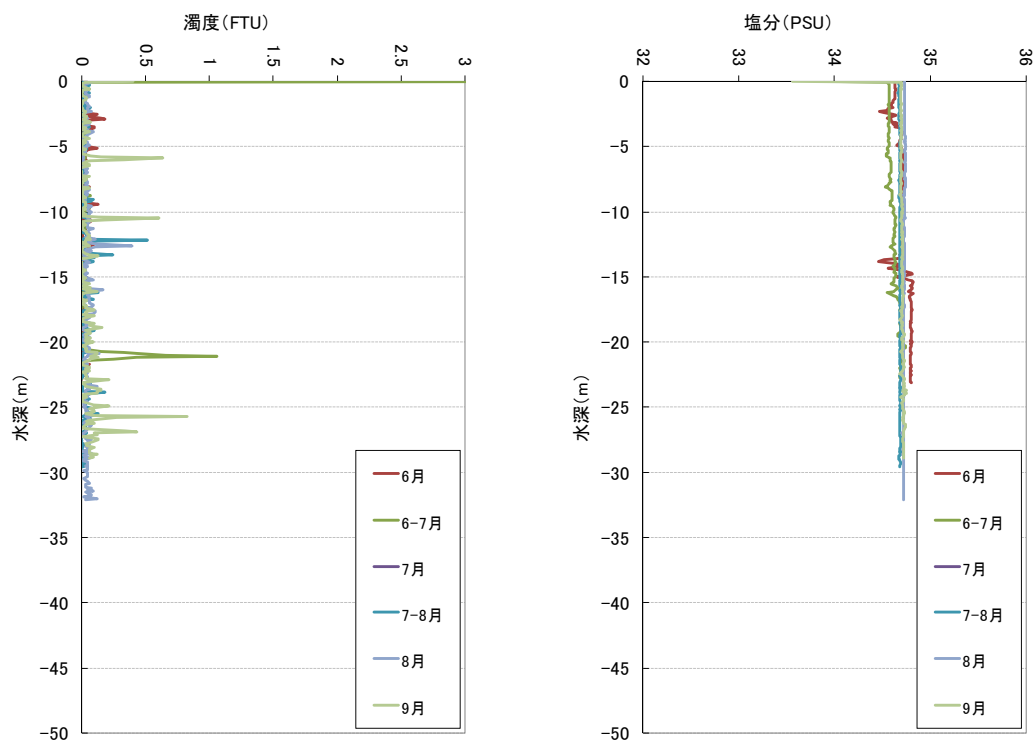


図3-1-5(1). 測定時期毎の濁度と塩分(那覇港3).

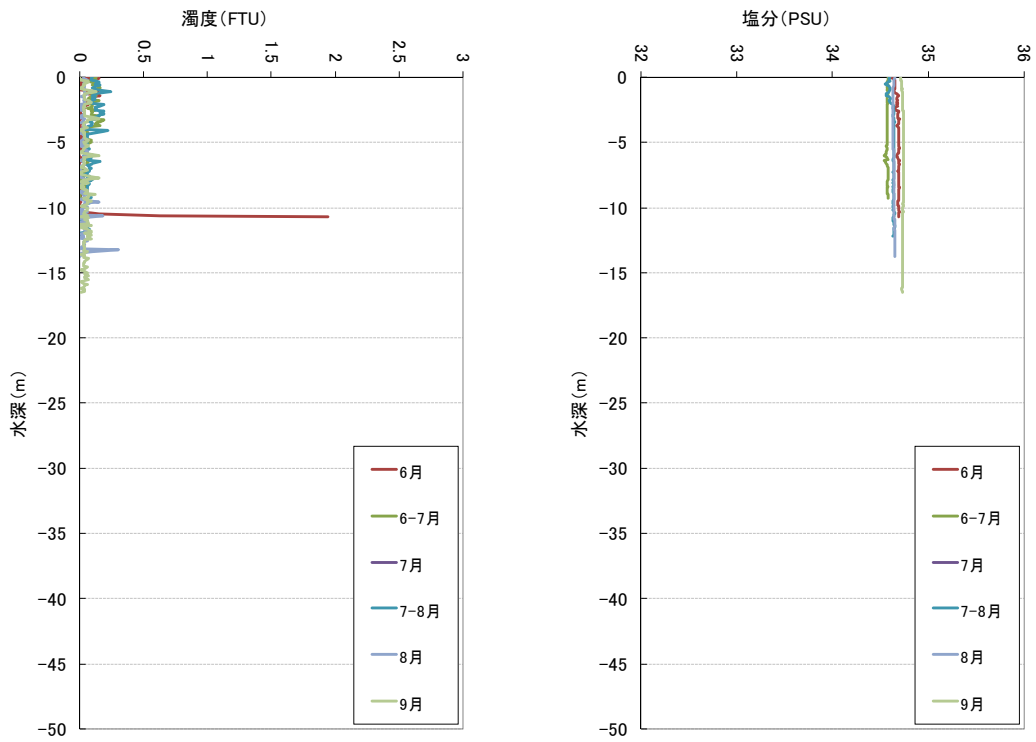


図3-1-5(2). 測定時期毎の濁度と塩分(キャンプ・キンザー沖).

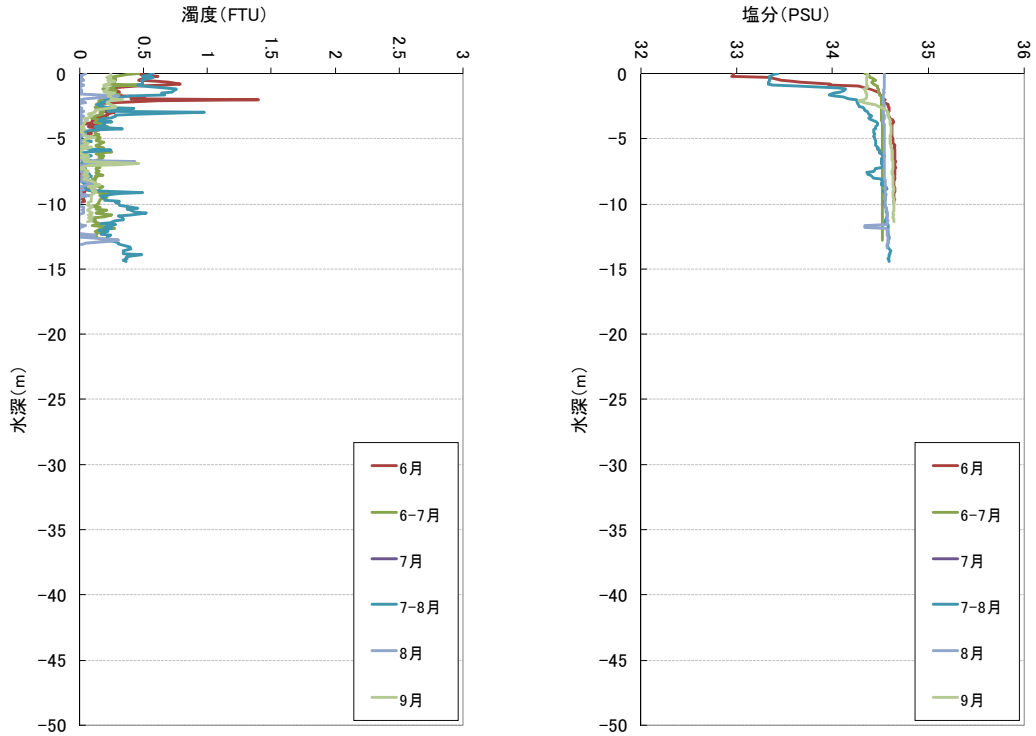


図3-1-5(3). 測定時期毎の濁度と塩分(伊佐(沖)).



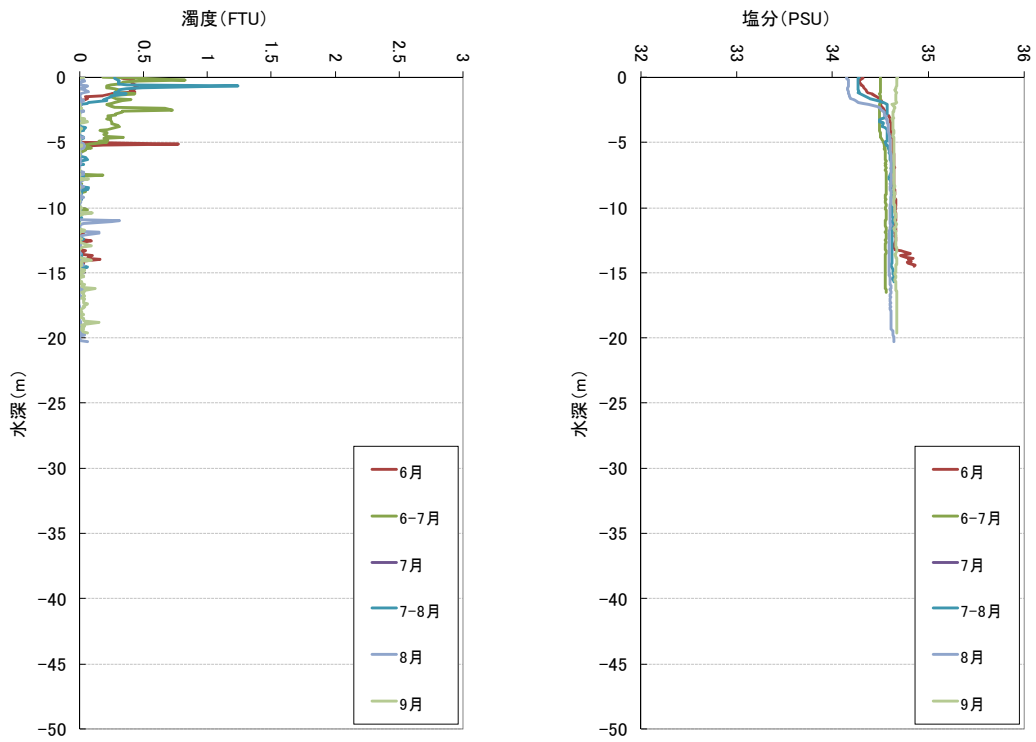


図3-1-5(4). 測定時期毎の濁度と塩分(北谷).

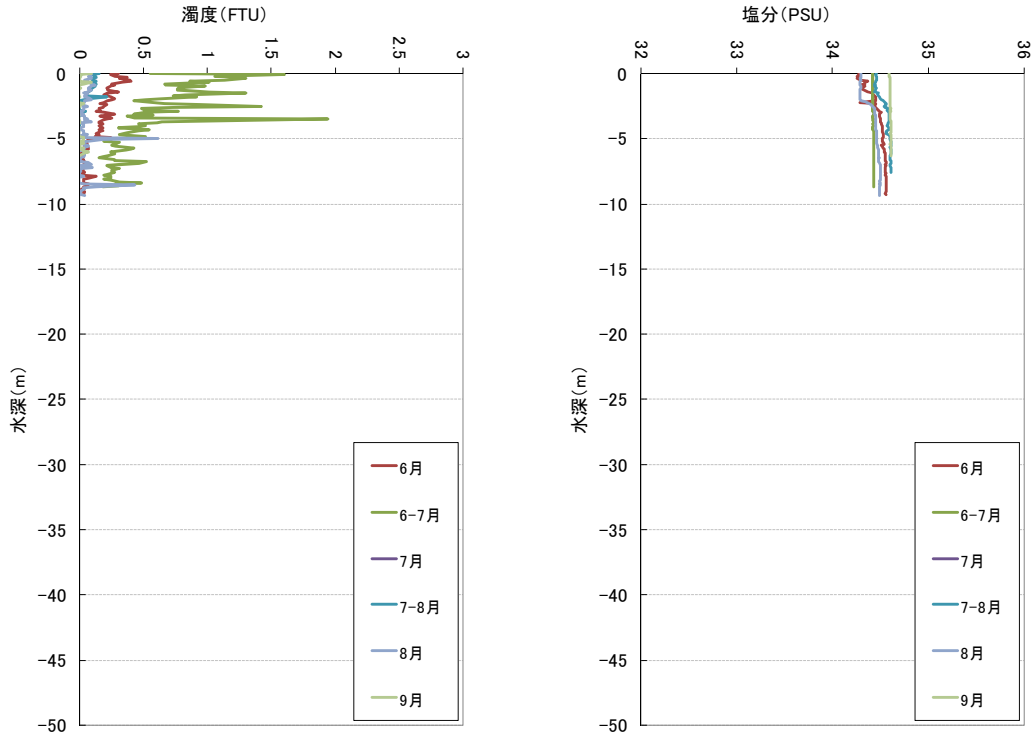


図3-1-5(5). 測定時期毎の濁度と塩分(比謝川(北)).

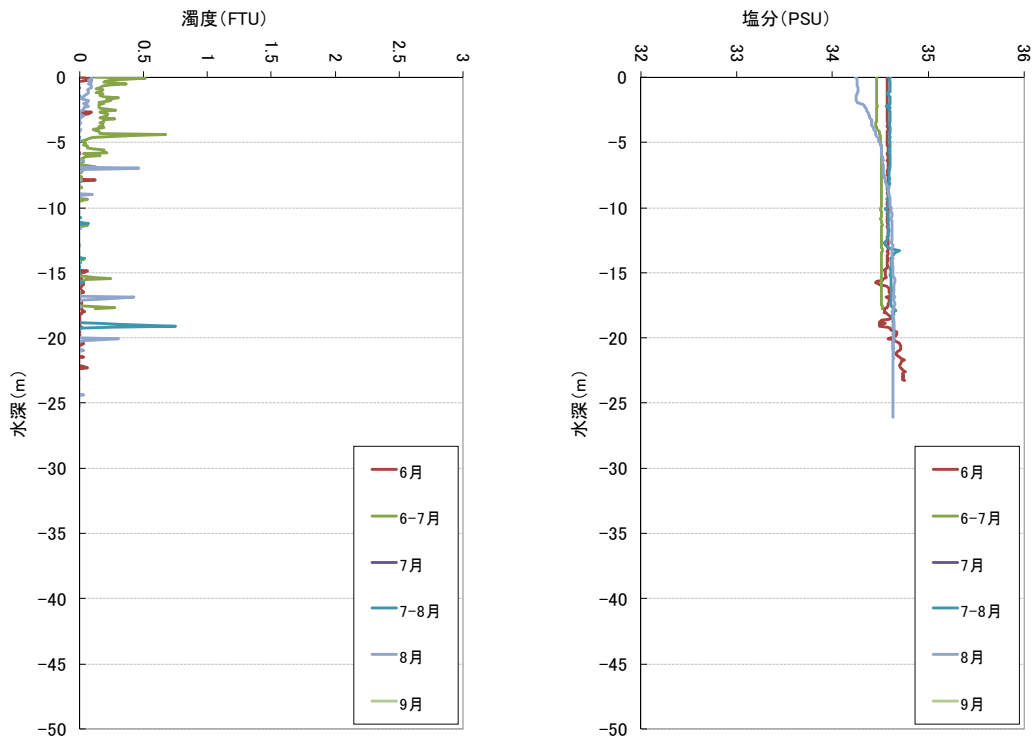


図3-1-5(6). 測定時期毎の濁度と塩分(残波).

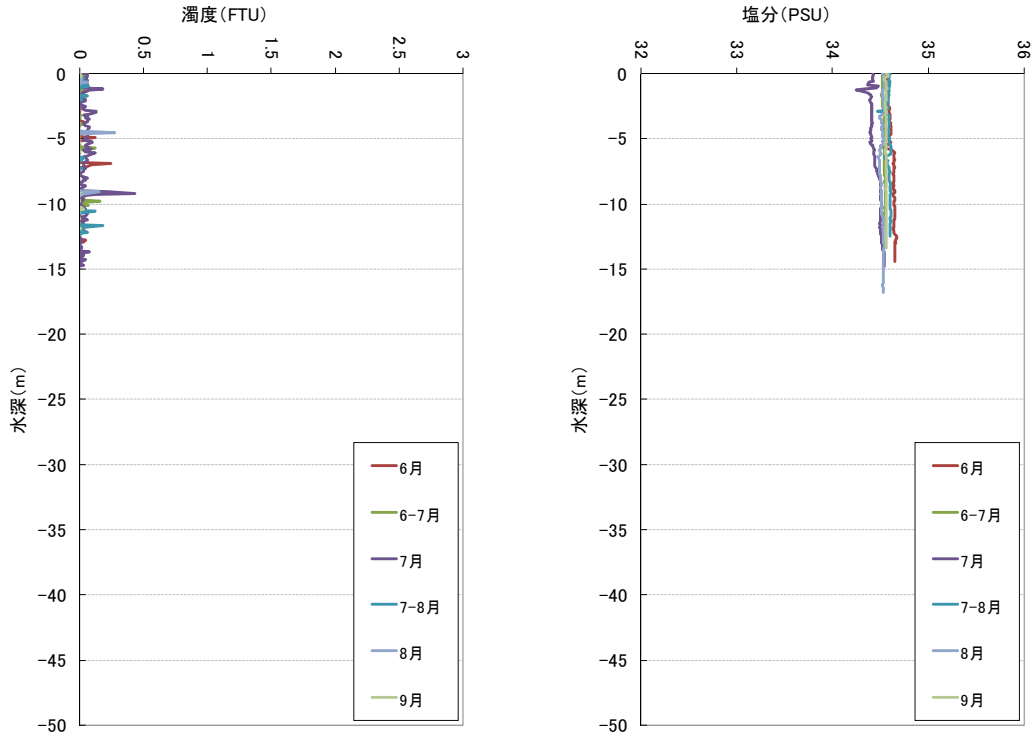


図3-1-5(7). 測定時期毎の濁度と塩分(長浜).

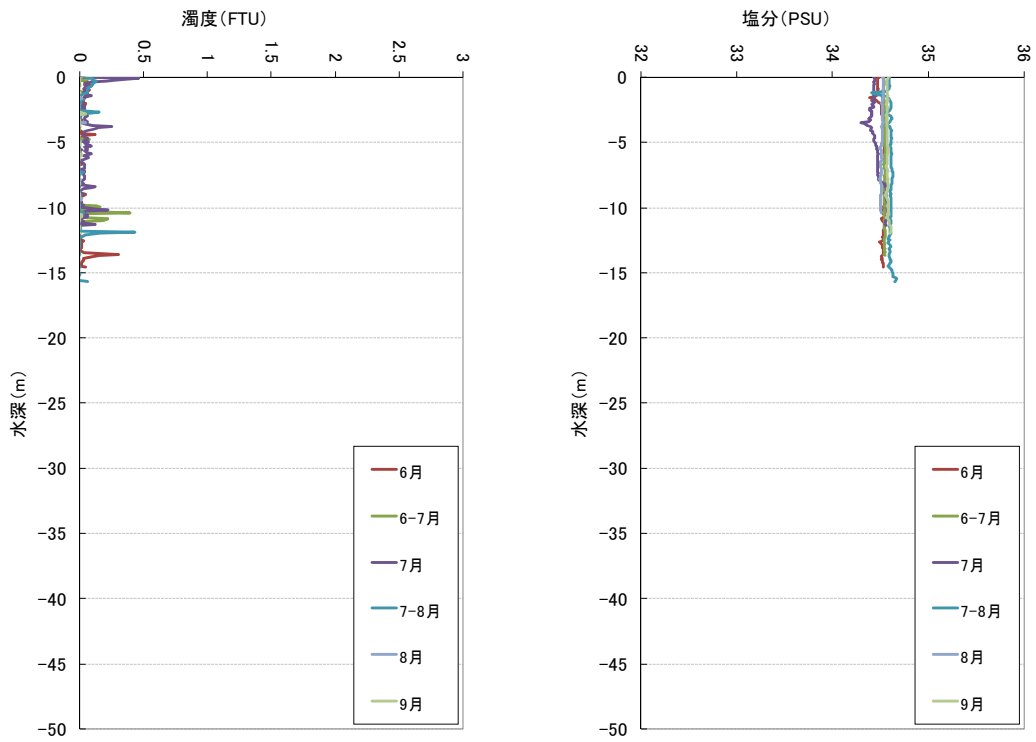


図3-1-5(8). 測定時期毎の濁度と塩分(前兼久(沖)).

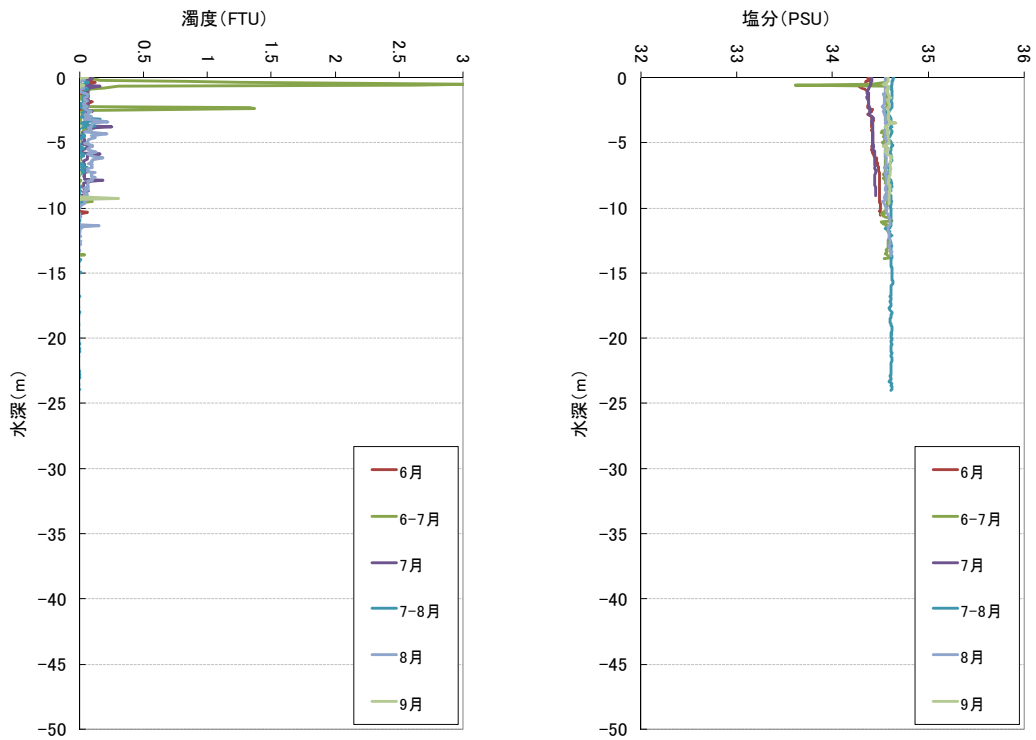


図3-1-5(9). 測定時期毎の濁度と塩分(屋嘉田(沖)).

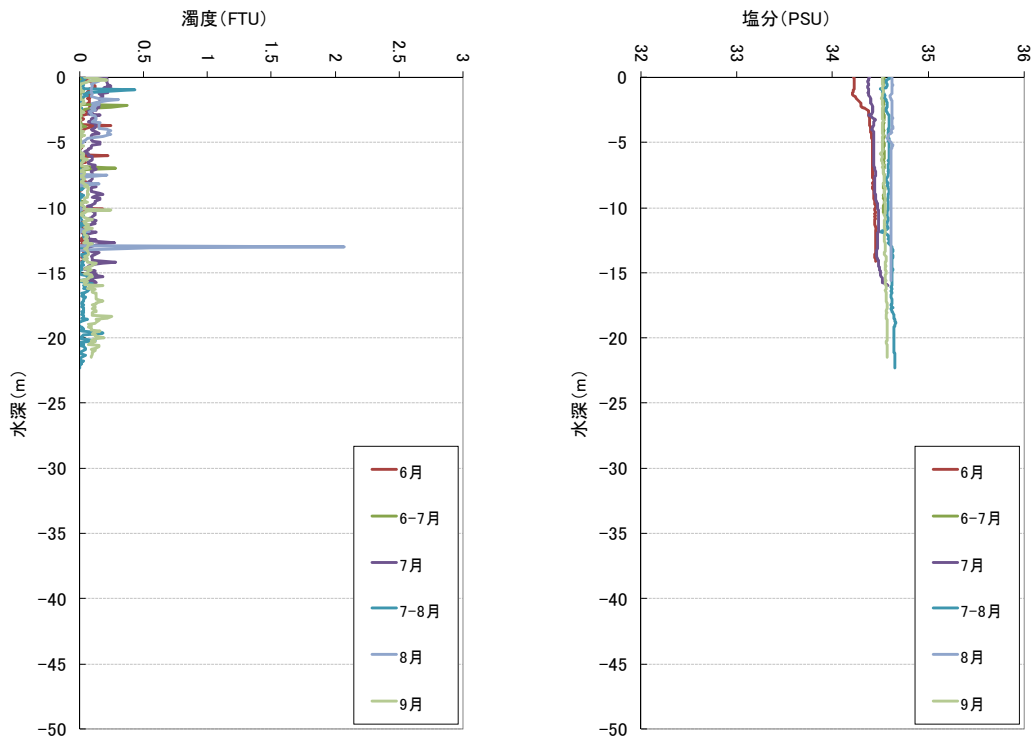


図3-1-5(10). 測定時期毎の濁度と塩分(伊武部).

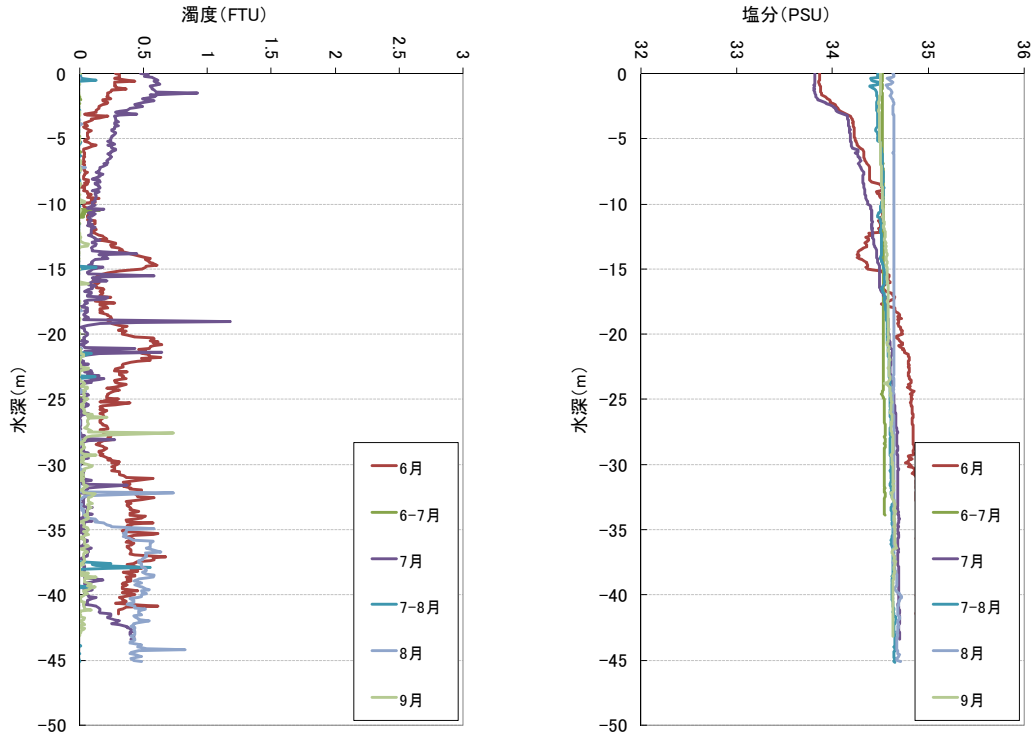


図3-1-5(11). 測定時期毎の濁度と塩分(名護湾 5).

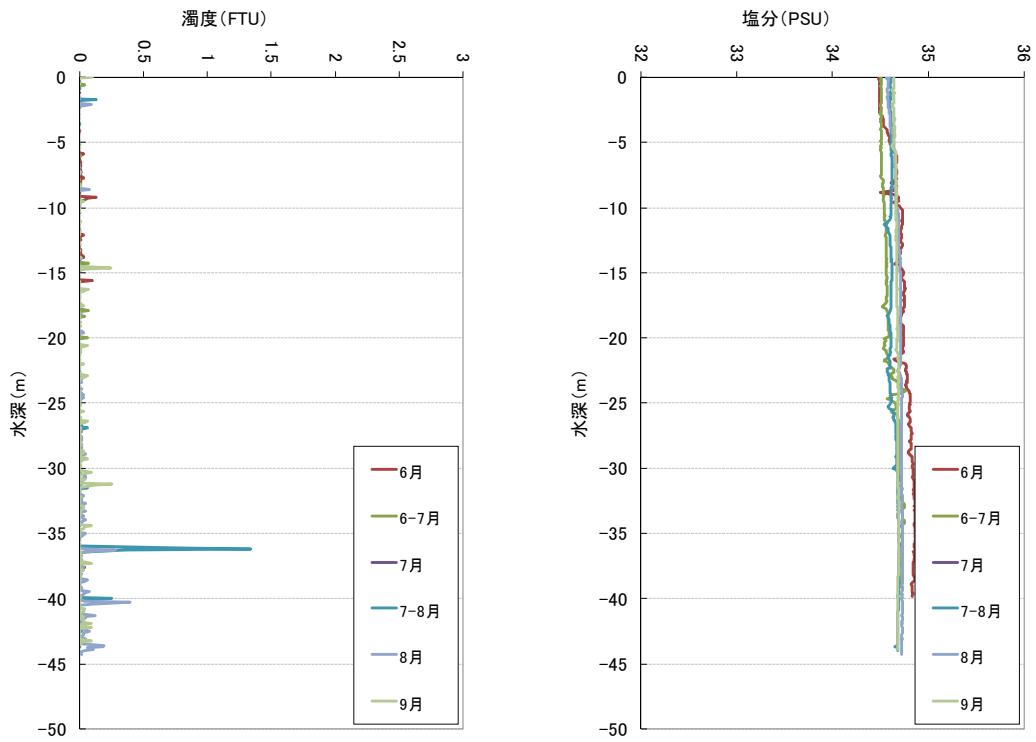


図3-1-5(12). 測定時期毎の濁度と塩分(那覇-残波沖).

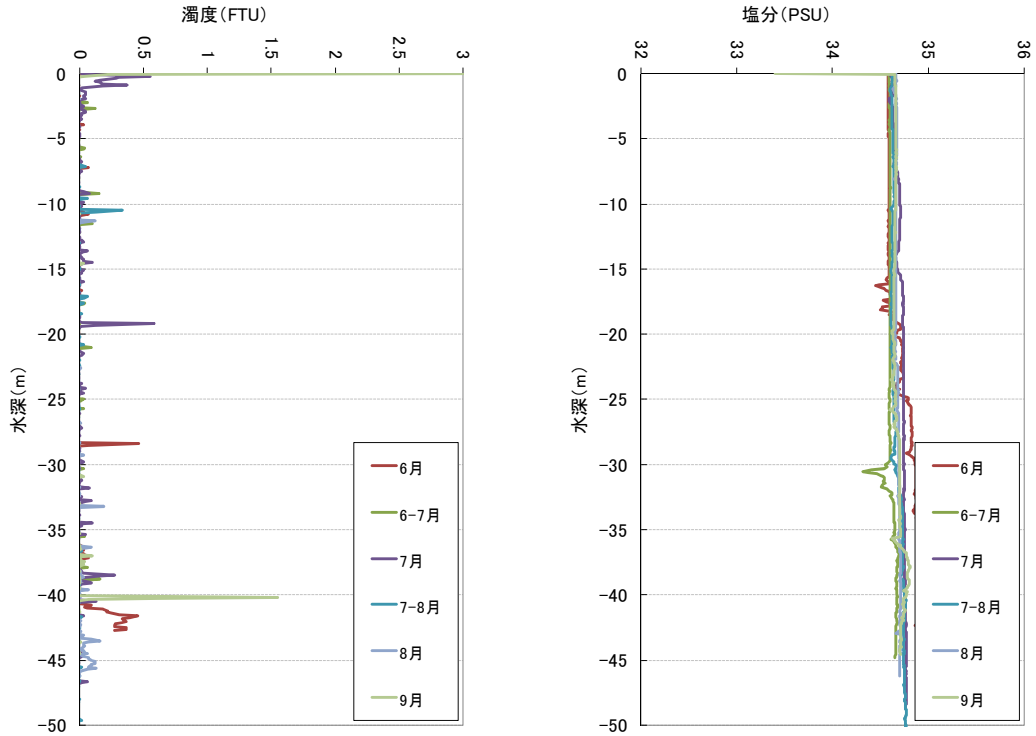


図3-1-5(13). 測定時期毎の濁度と塩分(残波-名護沖).

### 1-3-3. 栄養塩濃度

今年度これまでの分析結果を表3-1-4(1)～(6)に示す。

分析項目であるTOCおよびDOCは、分析機器の動作不良のため、全ての分析が完了していない。  
3月4日に分析機器の修繕が終わり、動作確認ののち通常通り分析できる見込みである。分析終了後速やかに報告することとしたい。

表3-1-4(1). 平成27年度第1回目採水に係る分析結果.

オニヒトデ事業 H27 1回目

サンプリング日:2015/6/20-21

ID	地点No	地点名	(mg/L)						(ug/L)
			TN	DTN	DIN	TP	DTP	DIP	Chl.a
2701001	1	那覇港3(沖)	0.03	< 0.03	0.002	0.006	0.004	0.004	0.09
2701002	2	キャンプキンザー	0.03	0.04	0.005	0.007	0.005	0.005	0.12
2701003	3	伊佐(沖)	0.78	0.77	0.571	0.040	0.031	0.022	0.64
2701004	4	北谷(岸)	0.07	0.05	0.023	0.009	0.005	0.003	0.88
2701005	5	比謝川(北)	0.07	0.03	0.007	0.009	0.006	0.005	0.98
2701006	6	残波	0.03	< 0.03	0.009	0.007	0.005	0.004	0.13
2701007	7	長浜	0.03	< 0.03	0.006	0.005	0.005	0.004	0.17
2701008	8	前兼久(沖)	0.03	< 0.03	0.005	0.005	0.006	0.005	0.21
2701009	9	屋嘉田(沖)	0.03	< 0.03	0.006	0.006	0.007	0.005	0.11
2701010	10	伊武部	0.05	< 0.03	0.024	0.008	0.006	0.005	0.73
2701011	11	名護湾5	0.04	< 0.03	0.004	0.007	0.006	0.004	0.49
2701012	12	残波-名護湾	0.02	< 0.03	0.003	0.005	0.007	0.004	0.07
2701013	13	那覇-残波	< 0.03	< 0.03	0.004	0.005	0.005	0.004	0.10

表3-1-4(2). 平成27年度第2回目採水に係る分析結果.

オニヒトデ事業 H27 2回目

サンプリング日:2015/6/29, 7/4

ID	地点No	地点名	(mg/L)						(ug/L)
			TN	DTN	DIN	TP	DTP	DIP	Chl.a
2702001	1	那覇港3(沖)	0.04	0.04	0.016	0.004	0.005	< 0.003	0.24
2702002	2	キャンプキンザー	0.03	< 0.03	0.005	0.003	0.006	< 0.003	0.12
2702003	3	伊佐(沖)	0.08	0.07	0.046	0.008	0.010	0.005	0.52
2702004	4	北谷(岸)	0.06	0.03	0.005	0.006	0.006	< 0.003	0.92
2702005	5	比謝川(北)	0.08	0.04	0.004	0.006	0.007	< 0.003	0.88
2702006	6	残波	0.05	0.04	0.021	0.006	0.006	< 0.003	0.23
2702007	7	長浜	0.04	0.05	0.023	0.006	0.005	< 0.003	0.30
2702008	8	前兼久(沖)	0.05	0.07	0.005	0.008	< 0.003	< 0.003	0.31
2702009	9	屋嘉田(沖)	0.05	0.04	0.003	0.006	0.005	< 0.003	0.19
2702010	10	伊武部	0.20	0.03	0.004	0.004	0.006	< 0.003	0.15
2702011	11	名護湾5	0.05	0.07	0.011	0.005	0.007	< 0.003	0.13
2702012	12	残波-名護湾	0.08	0.04	0.002	0.006	0.007	< 0.003	0.07
2702013	13	那覇-残波	0.05	0.05	0.015	0.006	0.006	< 0.003	0.12

表3-1-4(3). 平成27年度第3回目採水に係る分析結果.

オニヒトデ事業 H27 3回目

サンプリング日: 2015/7/22-23

ID	地点No	地点名	(mg/L)						(ug/L)
			TN	DTN	DIN	TP	DTP	DIP	Chl.a
2703001	1	那覇港3(沖)	< 0.03	< 0.03	0.018	0.006	0.005	< 0.003	0.38
2703002	2	キャンプキンザー	< 0.03	< 0.03	0.036	0.007	0.007	< 0.003	0.26
2703003	3	伊佐(沖)	< 0.03	< 0.03	0.017	0.011	0.012	0.006	0.31
2703004	4	北谷(岸)	0.03	< 0.03	0.039	0.010	0.009	0.003	0.94
2703005	5	比謝川(北)	< 0.03	< 0.03	0.006	0.008	0.009	< 0.003	0.72
2703006	6	残波	< 0.03	< 0.03	0.018	0.008	0.009	< 0.003	0.48
2703007	7	長浜	< 0.03	< 0.03	0.009	0.007	0.008	< 0.003	0.32
2703008	8	前兼久(沖)	< 0.03	< 0.03	0.018	0.006	0.008	< 0.003	0.31
2703009	9	屋嘉田(沖)	< 0.03	< 0.03	0.014	0.006	0.008	< 0.003	0.22
2703010	10	伊武部	< 0.03	< 0.03	0.004	0.008	0.009	< 0.003	0.26
2703011	11	名護湾5	< 0.03	< 0.03	0.010	0.008	0.008	< 0.003	0.29
2703012	12	残波-名護湾	< 0.03	< 0.03	0.012	0.007	0.009	< 0.003	0.55
2703013	13	那覇-残波	< 0.03	< 0.03	0.004	0.006	0.006	< 0.003	0.26

表3-1-4(4). 平成27年度第4回目採水に係る分析結果.

オニヒトデ事業 H27 4回目

サンプリング日: 2015/7/31-8/1

ID	地点No	地点名	(mg/L)						(ug/L)
			TN	DTN	DIN	TP	DTP	DIP	Chl.a
2704001	1	那覇港3(沖)	< 0.03	0.07	0.015	0.005	0.004	< 0.003	0.22
2704002	2	キャンプキンザー	< 0.03	< 0.03	0.029	0.006	0.006	< 0.003	0.14
2704003	3	伊佐(沖)	0.22	0.06	0.070	0.026	0.008	< 0.003	3.09
2704004	4	北谷(岸)	< 0.03	< 0.03	0.003	0.005	0.005	< 0.003	0.21
2704005	5	比謝川(北)	< 0.03	< 0.03	0.017	0.006	0.007	< 0.003	0.16
2704006	6	残波	< 0.03	< 0.03	< 0.002	0.006	0.006	< 0.003	0.11
2704007	7	長浜	< 0.03	< 0.03	0.004	0.008	0.006	< 0.003	0.18
2704008	8	前兼久(沖)	< 0.03	< 0.03	0.002	0.008	0.006	< 0.003	0.36
2704009	9	屋嘉田(沖)	< 0.03	< 0.03	0.008	0.007	0.006	< 0.003	0.19
2704010	10	伊武部	< 0.03	< 0.03	< 0.002	0.006	0.006	< 0.003	0.31
2704011	11	名護湾5	< 0.03	< 0.03	< 0.002	0.005	0.006	< 0.003	0.13
2704012	12	残波-名護湾	< 0.03	< 0.03	0.004	0.006	0.005	< 0.003	0.12
2704013	13	那覇-残波	< 0.03	< 0.03	0.003	0.006	0.004	< 0.003	0.17

表3-1-4(5). 平成27年度第5回目採水に係る分析結果.

オニヒトデ事業 H27 5回目

サンプリング予定日: 2015/8/10-11

ID	地点No	地点名	(mg/L)						(ug/L)
			TN	DTN	DIN	TP	DTP	DIP	Chl.a
2705001	1	那覇港3(沖)	< 0.03	< 0.03	0.002	0.006	0.006	< 0.003	0.16
2705002	2	キャンプキンザー	0.05	0.03	0.011	0.014	0.006	0.003	0.16
2705003	3	伊佐(沖)	0.03	0.03	0.005	0.006	0.007	< 0.003	0.27
2705004	4	北谷(岸)	0.03	< 0.03	0.030	0.009	0.008	< 0.003	0.27
2705005	5	比謝川(北)	0.03	< 0.03	0.033	0.008	0.008	< 0.003	0.23
2705006	6	残波	0.04	< 0.03	0.005	0.007	0.008	< 0.003	0.13
2705007	7	長浜	0.05	0.03	0.013	0.006	0.006	< 0.003	0.16
2705008	8	前兼久(沖)	0.04	< 0.03	0.003	0.007	0.007	< 0.003	0.13
2705009	9	屋嘉田(沖)	0.03	< 0.03	0.006	0.008	0.007	< 0.003	0.32
2705010	10	伊武部	0.03	< 0.03	0.007	0.008	0.007	< 0.003	0.12
2705011	11	名護湾5	0.03	< 0.03	0.002	0.008	0.008	< 0.003	0.25
2705012	12	残波-名護湾	< 0.03	< 0.03	0.003	0.007	0.007	< 0.003	0.08
2705013	13	那覇-残波	0.05	< 0.03	0.003	0.006	0.006	< 0.003	0.10

表3-1-4(6). 平成27年度第6回目採水に係る分析結果.

オニヒトデ事業 H27 6回目

サンプリング日:2015/9/1-3

ID	地点No	地点名	(mg/L)						(ug/L)
			TN	DTN	DIN	TP	DTP	DIP	Chl.a
2706001	1	那覇港3(沖)	0.03	< 0.03	0.005	0.006	0.006	0.006	0.13
2706002	2	キャンプキンザー	0.05	< 0.03	0.043	0.007	0.008	0.006	0.15
2706003	3	伊佐(沖)	< 0.03	< 0.03	0.085	0.013	0.009	0.007	0.41
2706004	4	北谷(岸)	-	< 0.03	0.023	-	0.006	0.005	0.16
2706005	5	比謝川(北)	< 0.03	< 0.03	0.004	0.007	0.007	0.005	0.40
2706006	6	残波	0.03	< 0.03	0.006	0.008	0.007	0.005	0.11
2706007	7	長浜	0.04	< 0.03	0.007	0.007	0.007	0.004	0.10
2706008	8	前兼久(沖)	0.04	< 0.03	0.013	0.008	0.007	0.004	0.34
2706009	9	屋嘉田(沖)	0.04	< 0.03	0.013	0.008	0.008	0.004	0.09
2706010	10	伊武部	0.04	< 0.03	0.004	0.007	0.007	0.005	0.19
2706011	11	名護湾5	0.03	< 0.03	0.003	0.008	0.007	0.005	0.18
2706012	12	残波-名護湾	0.03	< 0.03	0.004	0.007	0.007	0.005	0.08
2706013	13	那覇-残波	0.04	< 0.03	0.006	0.005	0.005	0.003	0.07

## 1-4. 考察

### 1-4-1. 遊離アミノ酸の分析方法の検討

遊離アミノ酸の分析方法として、海水サンプルにおける報告や簡便さ、感度を考慮した結果、アミノ酸と o-フタルアルデヒド (OPA) と反応させ、その反応生成物の蛍光を測定する方法を採用した。ちなみに文献では、定量下限値はグリシン換算で  $0.04 \mu\text{M}$  ( $3.0 \mu\text{g/L}$ ) と示されているが、試行の結果  $0.2 \mu\text{M}$  ( $15.0 \mu\text{g/L}$ ) が定量下限値となった。また、全てのサンプルについて検証が終了していないが、本調査海域における濃度レベルは  $\sim 3 \mu\text{M}$  ( $\sim 225 \mu\text{g/L}$ 、炭素換算すると  $\sim 0.07 \text{ mg-C/L}$ ) であった。

### 1-4-2. 単糖類の分析方法の検討

単糖類の分析方法として、試薬入手の可否、感度および簡便さを考慮した結果、海水サンプルの糖の分析でも用いられている TPTZ 法 (2, 4, 6-トリピリジル-s-トリアジンを用いる方法) を採用することとした。試行の結果、定量下限値は  $0.5 \mu\text{M}$  ( $0.10 \text{ mg/L}$ ) となった。また、全てのサンプルについて検証が終了していないが、本調査海域における濃度レベルは  $0.5 \mu\text{M} \sim 2.6 \mu\text{M}$  ( $0.10 \text{ mg/L} \sim 0.48 \text{ mg/L}$ 、炭素換算すると  $0.04 \text{ mg-C/L} \sim 0.19 \text{ mg-C/L}$ ) であった。



## 2. クロロフィル分布調査

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餌料としての植物プランクトン密度を示すクロロフィルa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a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a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a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。

### 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13地点において同時期に実施した（図3-1-1、表3-2-1（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（以下「CTD」、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。CTD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濃度分析

試料水1L（懸濁物が多い場合には500mL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）10mL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量の分析は、SHIMADZU社製 RF-5300PCを用いて蛍光法（Welschmeyer法）により定量した。

表3-2-1(1). クロロフィル a 分析に係るサンプリング状況(那覇港3から長浜まで). 定期サンプリング  
 地点およびプランクトンネット調査地点を含む.

地点名	那覇港3 (沖)	キャンプ キンザーP	キャンプ キンザー	マリーナ 沖P	伊佐(沖)	北谷(岸)	北谷 P25cm	北谷P	比謝川 (北)	残波	長浜(岸) P25cm	長浜
6/17											○	○
6/20	○		○	○	○	○	○		○	○		○
6/21												
6/22							○					
6/24											○	○
6/29	○		○	○	○	○	○		○	○		
6/30											○	○
7/1												
7/2												
7/3												
7/4							○					○
7/5							○					
7/6							○					
7/7							○				○	○
7/8							○					
7/9							○					
7/11												
7/12												
7/13							○					
7/14							○					
7/15							○				○	○
7/16							○					
7/17							○					
7/18							○					
7/19							○					
7/20												
7/21											○	○
7/22	○		○	○	○		○	○	○	○		
7/23												○
7/24							○					
7/27							○					
7/30											○	○
7/31	○		○	○	○		○	○	○	○		○
8/1												
8/12	○		○	○	○	○		○	○	○		○
8/13												
8/14											○	○
8/27											○	○
9/1	○		○	○	○	○	○		○	○		
9/2											○	○
9/3												○

表3-2-1(2). クロロフィル a 分析に係るサンプリング状況(久良波から那覇-残波まで). 定期サンプリング地点およびプランクトンネット調査地点を含む.

地点名	久良波 P25cm	前兼久 (沖)	屋嘉田P	屋嘉田 (沖)	万座P	万座(水路) P25cm	安富祖P	名嘉真(南) P25cm	伊武部	名護湾5	残波- 名護湾	那覇- 残波
6/17	○	○	○		○	○	○	○	○			
6/20												○
6/21		○		○					○	○	○	
6/22								○				
6/24	○	○	○		○	○	○	○	○			
6/29												○
6/30	○	○	○		○	○	○	○	○			
7/1								○				
7/2								○				
7/3								○				
7/4		○		○				○	○	○	○	
7/5								○				
7/6								○				
7/7	○	○	○		○	○	○	×2	○			
7/8								○				
7/9								○				
7/11								○				
7/12								○				
7/13								○				
7/14								○				
7/15	○	○	○		○	○	○	×2	○			
7/16								○				
7/17								○				
7/18								○				
7/19								○				
7/20								○				
7/21	○	○	○		○	○	○	×2	○			
7/22												○
7/23		○		○					○	○	○	
7/24								○				
7/27								○				
7/30	○	○	○		○	○	○	○	○			
7/31												○
8/1		○		○					○	○	○	
8/12												○
8/13		○		○					○	○	○	
8/14	○	○	○		○	○	○	○	○			
8/27	○	○	○		○	○	○	○	○			
9/1												○
9/2	○	○	○		○	○	○	○	○			
9/3		○		○					○	○	○	

※表中の「×2」は同日(採水時刻は異なる)サンプルが2本あることを示す.

## 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（CTD）の蛍光強度の測定結果を図3-2-1（1）～（13）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CTD観測値（蛍光強度）で、後の項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。

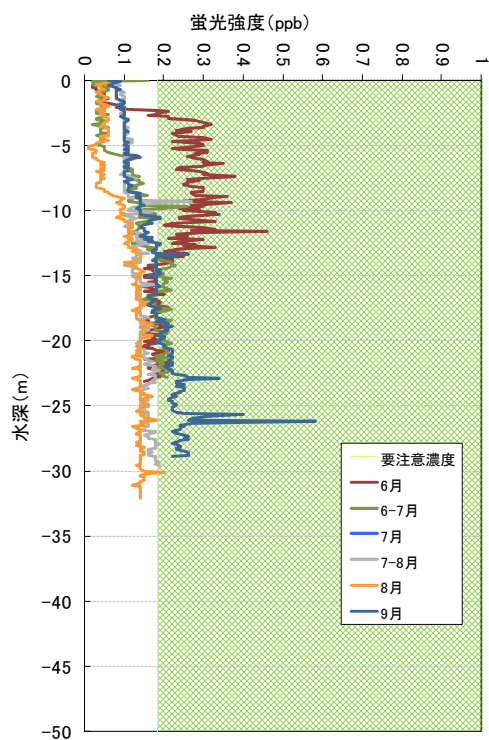


図3-2-1(1). 測定時期毎の蛍光強度(那覇港3).

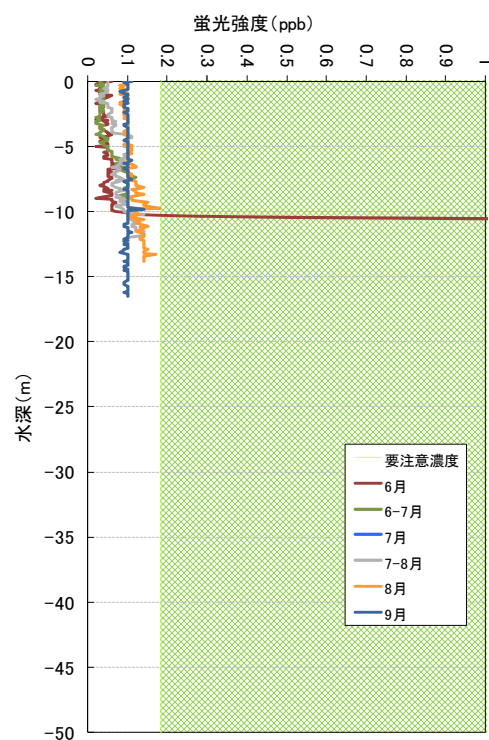


図3-2-1(2). 測定時期毎の蛍光強度(キャンプキンザー沖).

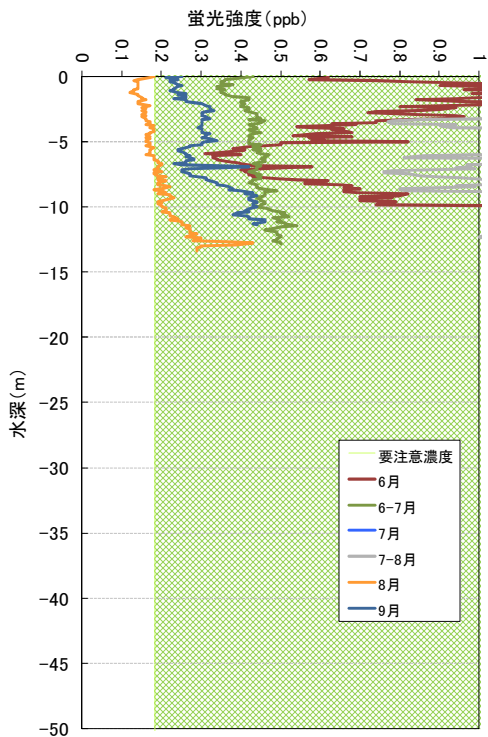


図3-2-1(3). 測定時期毎の蛍光強度(伊佐(沖)).

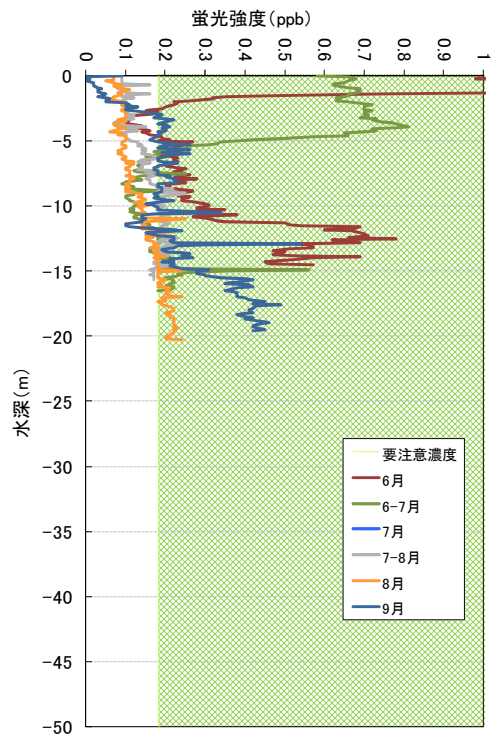


図3-2-1(4). 測定時期毎の蛍光強度(北谷(岸)).

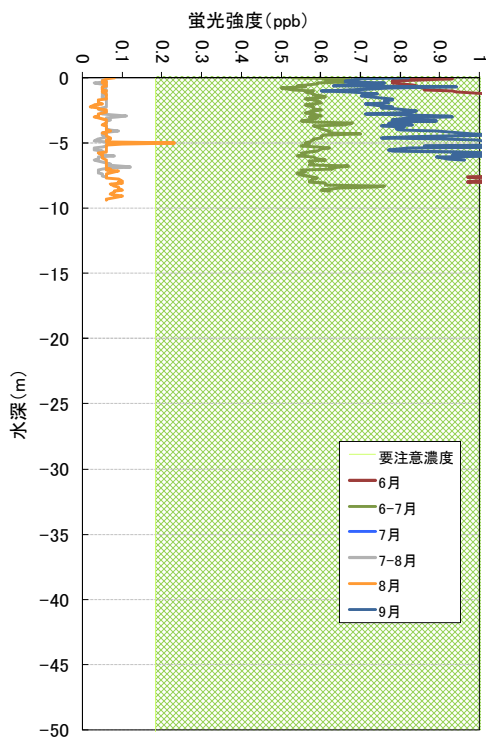


図3-2-1(5). 測定時期毎の蛍光強度(比謝川(北)).

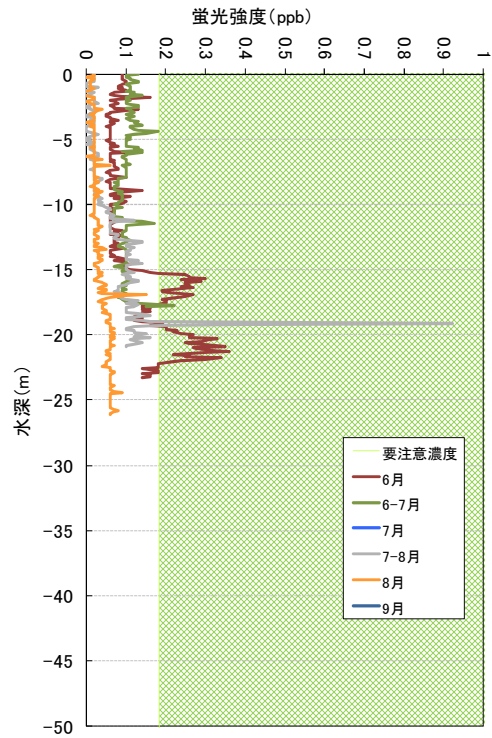


図3-2-1(6). 測定時期毎の蛍光強度(残波).

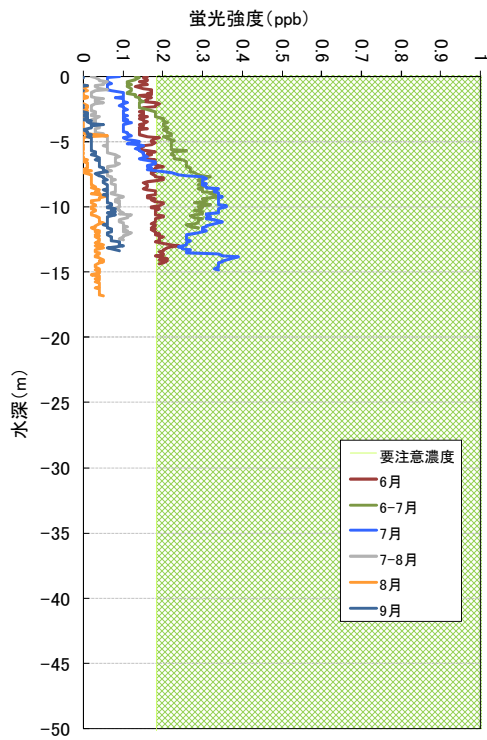


図3-2-1(7). 測定時期毎の蛍光強度(長浜).

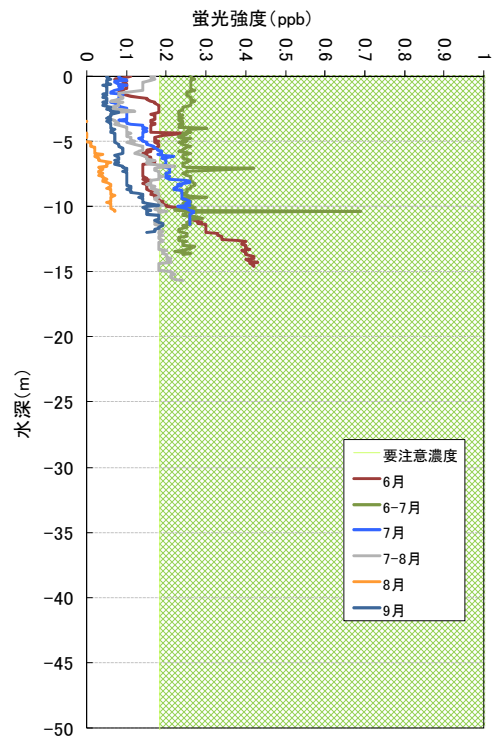


図3-2-1(8). 測定時期毎の蛍光強度(前兼久(沖)).

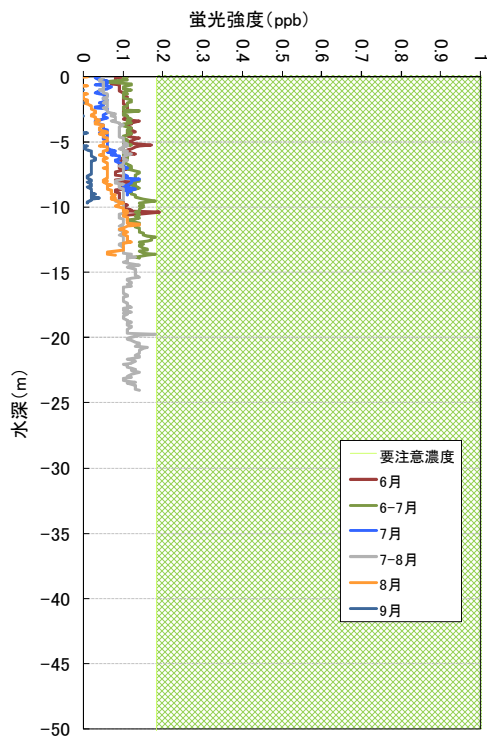


図3-2-1(9). 測定時期毎の蛍光強度(屋嘉田(沖)).

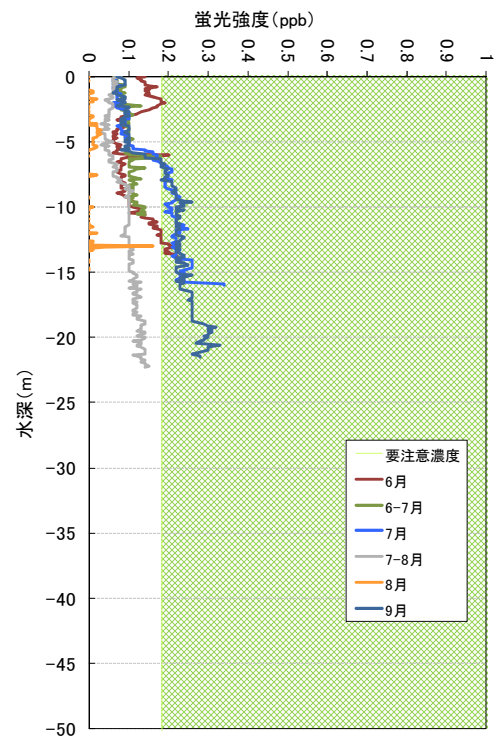


図3-2-1(10). 測定時期毎の蛍光強度(伊武部).

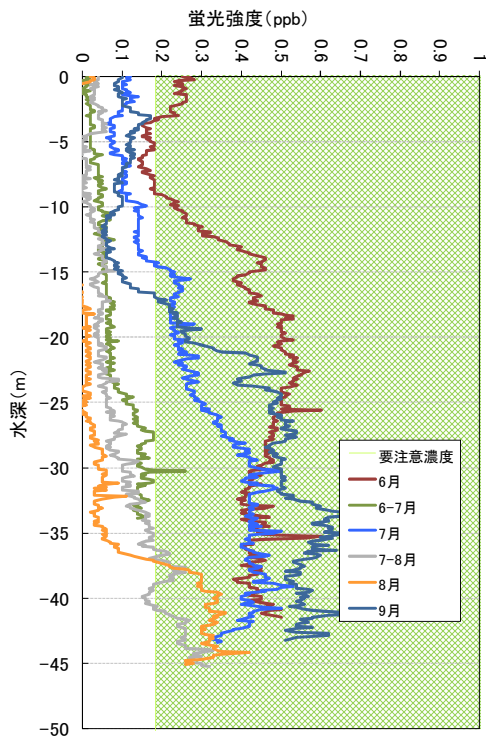


図3-2-1(11). 測定時期毎の蛍光強度(名護湾5).

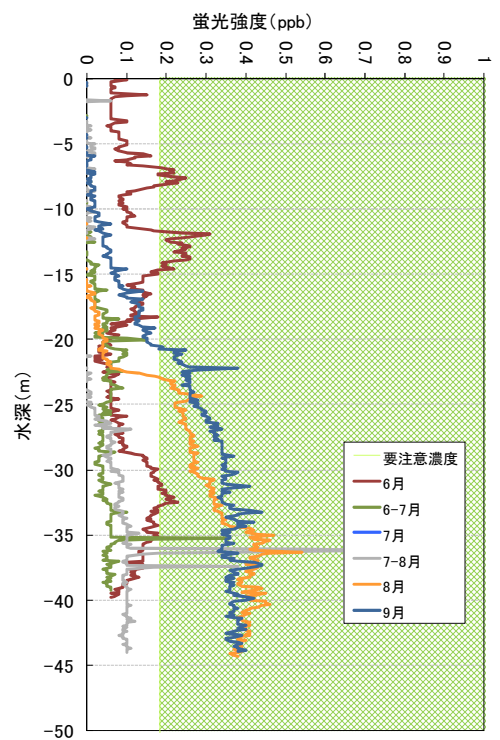


図3-2-1(12). 測定時期毎の蛍光強度(那覇一残波沖).

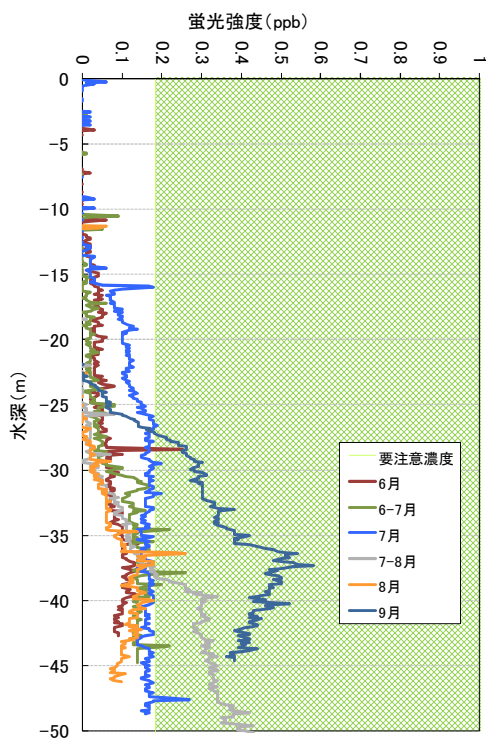


図3-2-1(13). 測定時期毎の蛍光強度(残波一名護沖).

## 2-3-2. クロロフィル a 濃度分析結果

今年度サンプリングした全ての分析結果を表3-2-2(1)～(3)に示す。

表3-2-2(1). クロロフィル a 分析結果. 6月17日から7月7日サンプリング分.

	6/17	6/20	6/21	6/22	6/24	6/29	6/30	7/1	7/2	7/3	7/4	7/5	7/6	7/7	7/7
地点名	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a
那覇港3(沖)		0.09				0.24									
キャンプキンザーP						0.12									
キャンプキンザー		0.12				0.12									
マリーナ沖P		0.16				0.24									
伊佐(沖)		0.64				0.52									
北谷(岸)		0.88				0.92									
北谷P25cm		0.17		0.34		0.39				0.35	0.28	0.30	0.32		
北谷P															
比謝川(北)		0.98				0.88									
残波		0.13				0.23									
長浜(岸)P25cm	0.09				0.24		0.17								0.11
長浜	0.07	0.17			0.23		0.13			0.30					0.07
久良波P25cm	0.06				0.24		0.16								0.11
前兼久(沖)	0.07		0.21		0.23		0.24			0.31					0.14
屋嘉田P	0.16				0.39		0.28								0.21
屋嘉田(沖)			0.11							0.19					
万座P	0.12				0.24		0.21								0.15
万座(水路)P25cm	0.08				0.49		0.48								0.27
安富祖P	0.11				0.21		0.16								0.12
名嘉真(南)P25cm	0.05			0.39	0.22		0.09	0.10	0.11	0.18	0.21	0.13	0.25	0.22	0.12
伊武部	0.05		0.73		0.30		0.15				0.15				0.05
名護湾5			0.49								0.13				
残波-名護湾			0.07							0.07					
那覇-残波		0.10				0.12									

※単位はすべて  $\mu\text{g/L}$

※空白: サンプル無

表3-2-2(2). クロロフィル a 分析結果. 7月8日から7月21日サンプリング分.

	7/8	7/9	7/11	7/12	7/13	7/14	7/15	7/15	7/16	7/17	7/18	7/19	7/20	7/21	7/21
地点名	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a
那覇港3(沖)															
キャンプキンザーP															
キャンプキンザー															
マリーナ沖P															
伊佐(沖)															
北谷(岸)															
北谷P25cm	0.34	0.27			0.42	0.65	0.45		0.36	0.28	0.29	0.18			
北谷P															
比謝川(北)															
残波															
長浜(岸)P25cm							0.10							0.39	
長浜							0.06							0.68	
久良波P25cm							0.19							0.30	
前兼久(沖)							0.24							0.39	
屋嘉田P							0.14							0.17	
屋嘉田(沖)															
万座P							0.20							0.29	
万座(水路)P25cm							0.91							1.19	
安富祖P							0.22							0.42	
名嘉真(南)P25cm	0.14	0.25	0.17	0.18	0.19	0.16	0.16	0.15	0.32	0.09	0.15	0.14	0.09	0.23	0.11
伊武部							0.20							0.40	
名護湾5															
残波-名護湾															
那覇-残波															

※単位はすべて  $\mu\text{g/L}$

※空白: サンプル無



表3-2-2(3). クロロフィル a 分析結果. 7月22日から9月3日サンプリング分.

	7/22	7/23	7/24	7/27	7/30	7/31	8/1	8/12	8/13	8/14	8/27	9/1	9/2	9/3
地点名	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a	Chl.a
那覇港3(沖)	0.38					0.23		0.17				0.14		
キャンプキンザーP														
キャンプキンザー	0.26					0.15		0.16				0.16		
マリーナ沖P	0.43					0.11		0.24				0.16		
伊佐(沖)	0.31					3.09		0.28				0.42		
北谷(岸)	0.94					0.22		0.27				0.16		
北谷P25cm	0.68		0.53	0.24		1.01		0.32				0.63		
北谷P														
比謝川(北)	0.72					0.17		0.24				0.41		
残波	0.48					0.12		0.14				0.11		
長浜(岸)P25cm					0.06					0.17	0.09		0.14	
長浜		0.32			0.10	0.18		0.16		0.11	0.18		0.11	0.10
久良波P25cm					0.14					0.20	0.16		0.15	
前兼久(沖)		0.31			0.33		0.37		0.14	0.26	0.15		0.34	0.20
屋嘉田P					0.22					0.25	0.13		0.28	
屋嘉田(沖)		0.22					0.19		0.32					0.10
万座P					0.17					0.20	0.28		0.22	
万座(水路)P25cm					0.43					0.40	0.27		0.62	
安富祖P					0.19					0.16	0.20		0.18	
名嘉真(南)P25cm			0.13	0.12	0.14					0.20	0.08		0.16	
伊武部		0.27			0.12		0.32		0.12	0.18	0.06		0.19	0.26
名護湾5		0.29					0.13		0.26					0.19
残波-名護湾		0.55					0.13		0.08					0.09
那覇-残波	0.27					0.17		0.10				0.07		

※単位はすべて  $\mu\text{g/L}$

※空白: サンプル無

## 2-4. 考察

### 2-4-1. 本調査海域におけるクロロフィル a 濃度の特徴

クロロフィル a 量の分析結果をヒストグラムで分布型を確認したところ、対数正規分布に近似していたため、以降の解析では分析結果を対数変換して行った。そのためここでの平均とは幾何平均値であり、多くの場合で用いられている算術平均値ではない。そのため極端に高い値ひとつで（幾何）平均値が高い値に引っ張られ、極端に高くなることはないと考えられる。表3-2-3にクロロフィル a 量分析結果の基本統計量をまとめたものを示す。ほとんどのオニヒトデ幼生が死滅するとされる、クロロフィル量が  $0.25 \mu\text{g/L}$  以下であったのは、全体の 66% (151/229) であり、反対にオニヒトデ幼生の生残率が高くなる、クロロフィル量が  $0.8 \mu\text{g/L}$  以上であったのは、全体の 4% (9/229) であった。

表3-2-3. クロロフィル量分析結果における基本統計量(H27年度測定分).

	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	0.27	0.21	229	0.27	0.02	0.05	3.09	0.20	3.04	151 66%

本調査海域の特徴を表現するため、図3-2-2に過去3年(H25-H27)の平常時のクロロフィル a 量の分析結果を調査地点ごとにまとめたものを示す。調査対象の沖縄島西海岸は、大きく残波以南と以北で特徴が分かれ、残波以南では比較的高くなりやすく、逆に以北では低くなりやすい(H25報告書)。残波以南でも、調査地点付近に河口などの負荷源がない地点(那覇港3およびキャンプキンザー)では、残波以北の状況と類似し比較的低いクロロフィル a は低くなる傾向がうかがえる。

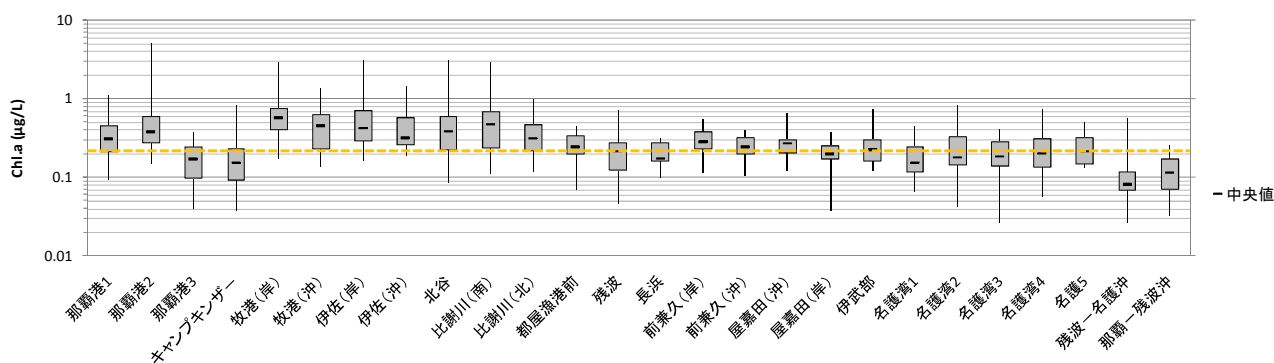


図3-2-2. 平常時における各地点の分析結果の箱ひげ図(H25-H27). 図中の破線は  $0.25 \mu\text{g/L}$  を示す. 縦軸は対数目盛で表示されており、統計量の計算は対数変換後の数値を用いた.

今年度は昨年度の全 24 地点から一部を変更した。その変更内容は残波以南の地点が 5 地点(昨年度は 12 地点)となり、比較的低いクロロフィル a 量が低い那覇港3およびキャンプキンザーが含まれる。また残波以北は 6 地点(昨年度は 10 地点)となり、その内 2 地点(長浜および伊武部)は新規地点である。

図3-2-3には今年度の分析結果を調査地点ごとにまとめたものを示し、図3-2-4に今年度全6回の調査時期および調査地点ごとの分析結果を示す。クロロフィルa量の分析結果の分布は、これまでと同様な傾向を示し、残波以南（伊佐、北谷、比謝川）では比較的高くなっている。また今年度のサンプリングにおいて調査日ごとにみると（図3-2-4）、残波以南よりもクロロフィルa量が高い値をとる残波以北の調査地点も存在するが、概して残波以南は全体的にクロロフィルa量が比較的高い。

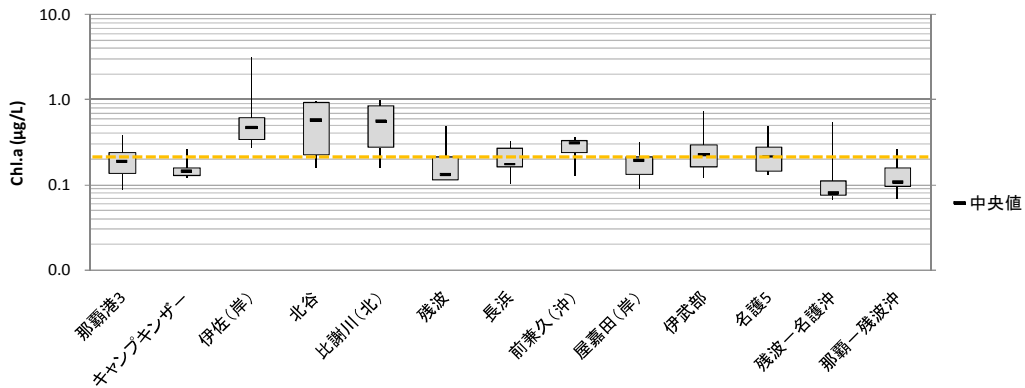


図3-2-3. 今年度(H27)の各地点におけるクロロフィルa量分析結果の箱ひげ図。図中の破線は0.25 µg/Lを示す。縦軸は対数目盛で表示されており、統計量の計算は対数変換後の数値を用いた。

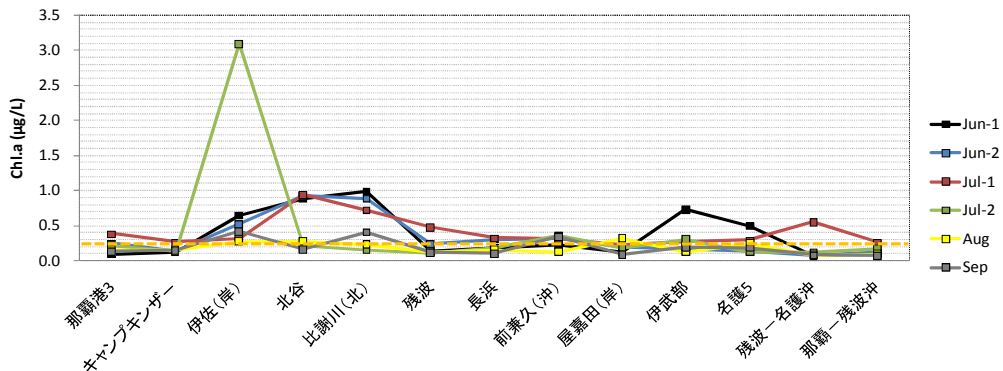


図3-2-4. 調査時期ごとのクロロフィルa量分析結果(H27)。図中の破線は0.25 µg/Lを示す。

さらに、夏季に高くなるという季節変動の傾向が今年度のモニタリングでも確認でき、第3回サンプリング（2015年7月22日～23日）は、対照地点を含め、平均が0.25 µg/Lを超える高い値を記録した（図3-2-5）。

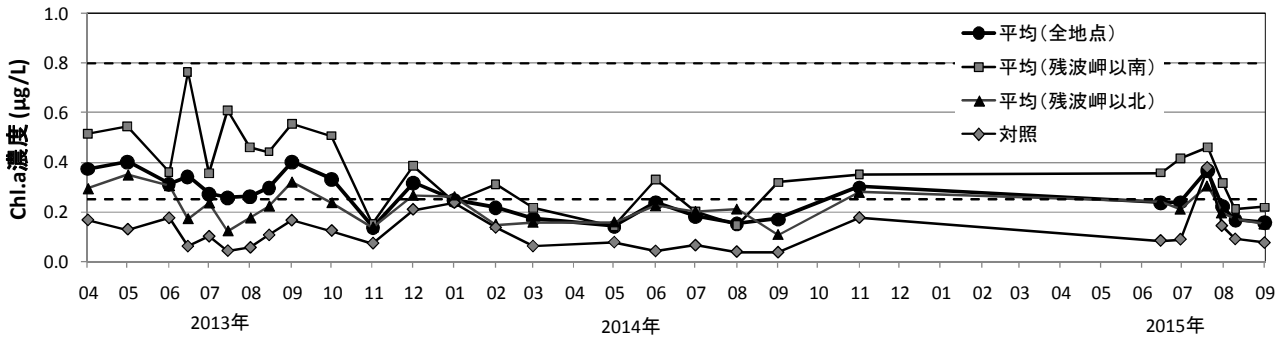


図3-2-5. モニタリング期間中(H25-H27)のクロロフィル a 量の変動. 図中の破線はそれぞれ  $0.25 \mu\text{g/L}$  および  $0.80 \mu\text{g/L}$  を示す. 統計量(平均)の計算は対数変換後の数値を用いた.

降雨後を狙ってサンプリングを実施したのは、昨年度 (H26) 6月の1度きりではあるが、アメダスデータや調査野帳を確認したところ、H25~H26年度の各地点において、降雨後もしくは降雨の影響を受けていると判断できるサンプリングが複数回確認できた。図3-2-6に降雨後と考えられる全てのクロロフィル a 量の分析結果を示し、図3-2-7に通常時の分析結果の分布を示す。ちなみに今年度のサンプリングは、アメダスデータおよび調査野帳の記録から降雨の影響はほとんどないと考えられる。

降雨後と通常時を平均値で比較すると降雨後の方が、クロロフィル a 量は有意に高くなっているが (H26 報告書)、各地点における最大値のほとんどは、平常時の5月から7月の期間で記録している。これは、クロロフィル a 量の増加 (植物プランクトンの増殖) は、降雨のみで決定されるのではなく、降雨による陸域由来の栄養塩濃度の上昇が植物プランクトンの増殖を促進させ、この植物プランクトンの増殖には降雨からある程度タイムラグがあるためと考えられる。

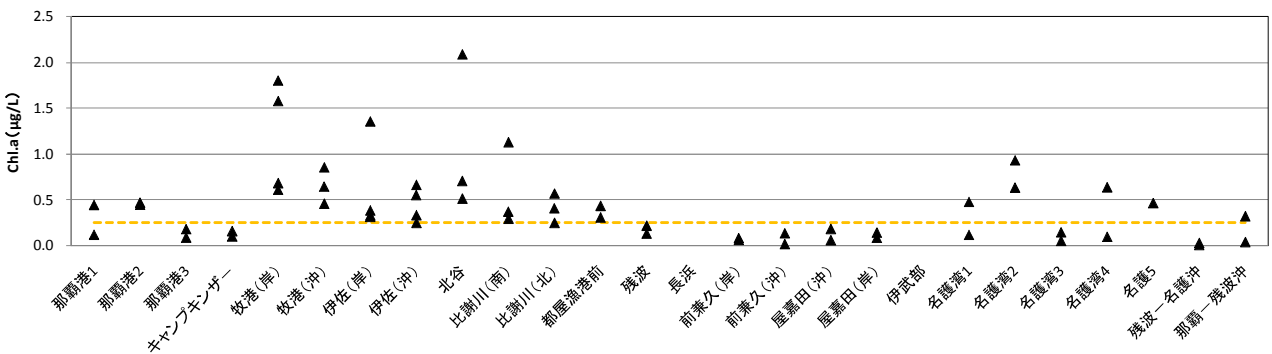


図3-2-6. 降雨後と考えられるサンプリング時のクロロフィル a 量分析結果. H25-H27 から降雨後の分析値を抽出したデータを使用した. 図中の破線は  $0.25 \mu\text{g/L}$  を示す.

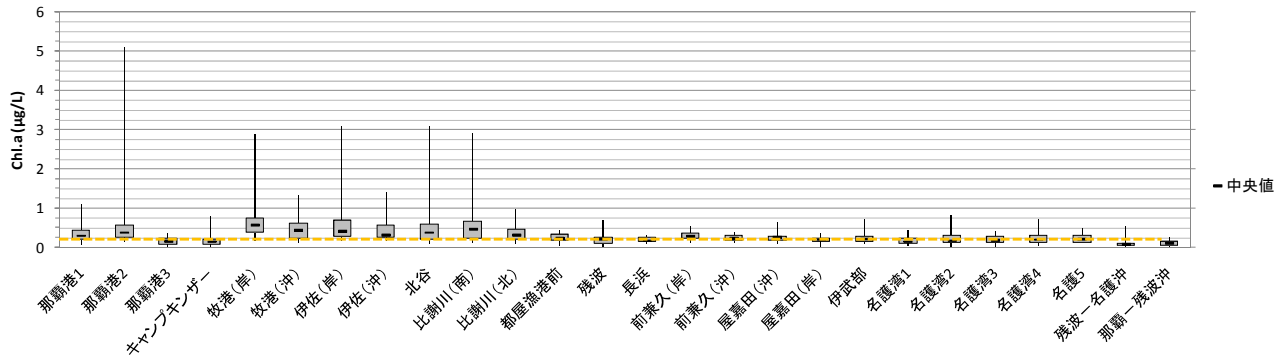


図3-2-7. 通常時サンプリングのクロロフィル a 量分析結果の箱ひげ図. ボックスから延びる縦線の上端は最大値を示す. H25-H27 から通常時の分析値を抽出したデータを使用した. 図中の破線は  $0.25 \mu\text{g/L}$  を示す. 統計量の計算は対数変換後の数値を用いた.

## 2-4-2. 蛍光量野外測定とクロロフィル a 濃度の関係

### (1) 全有機炭素 (TOC) とクロロフィル

平成 25 年度の報告書では、多項目水質計 (以下、CTD) 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、その中でも表層から 50cm の CTD 観測値とクロロフィル a 量の分析値との間で相関が最も高いと報告している (相関係数  $R = 0.69$ )。

図 3-2-8 に今年度までの 3 年間における CTD の観測結果 (水深 50 cm) とクロロフィル a 量分析値の関係 (散布図) を示す。今年度までの全てのデータを用いると相関係数が上昇することを期待したが、相関係数は  $R = 0.64$  となり、相関はこれまでに報告した  $R = 0.69$  より低くなった。

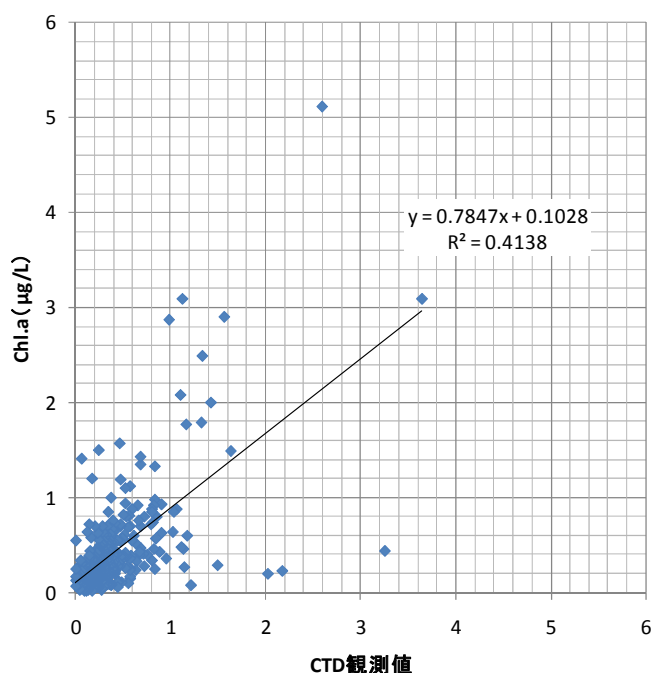


図3-2-8. 平成 25 年度から平成 27 年度にかけてサンプリングしたクロロフィル a の分析結果と CTD 観測値の関係.

CTD 観測値の分布において極端に大きな値および小さい値を「外れ値」として除外することを検討し、CTD 観測値の四分位値を用い、以下の範囲のものを外れ値とした。

外れ値 < 第 1 四分位  $- 1.5 \times \text{IQR}$  (第 3 四分位  $-$  第 1 四分位)

外れ値 > 第 3 四分位  $+ 1.5 \times \text{IQR}$  (第 3 四分位  $-$  第 1 四分位)

具体的には、CTD 観測値が 0.67 を超過したものが外れ値となる。その結果を図 3-2-9 に示す。

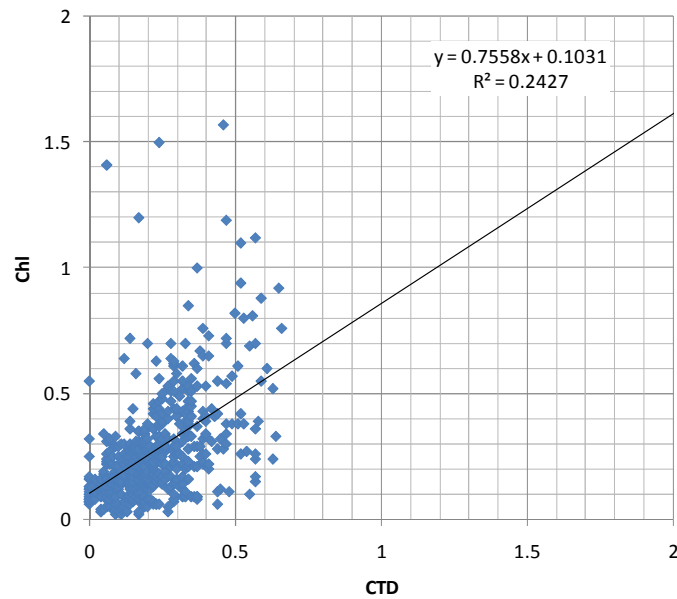


図3-2-9. 平成25年度から平成27年度にかけてサンプリングしたクロロフィルaの分析結果とCTD観測値の関係. 外れ値を除外.

CTDはクロロフィルを測定する機器であることから、本来であれば、CTD観測結果とクロロフィルa量には高い相関を示すものと考えられるが、相関は期待していたほど高くはなっていない。相関が上がらない原因を考察するため、以下のようにデータを精査した。

クロロフィルa量の分析のため採水している表層部分と対応するCTD観測値として、どの水深のデータが妥当であるのか再検討した。CTDの鉛直方向のデータを確認すると、表層からの変動が非常に大きい場合や、数10cmの間のみ前後と比べて高くなる場合があった(図3-2-10)。以上のことよりデータの拡がりの一つとして、CTDの不安定さの可能性が考えられたため、ある水深のデータを用いるのではなく、平均値や中央値といった統計量を用いて比較することとした。検討した結果の中では水深160cm-200cmの中央値を用いた場合が、最も相関が高くなり $R = 0.709$ となった(表3-2-3)。それでも低い値で団子状の分布をしていたり、CTD観測値が1付近でクロロフィルa量の分布の拡がりが見受けられ大きな変化はない(図3-2-11)。検討課題は残っているが、以降の解析では、CTD観測値の中で表層付近の代表値として水深160cm-200cmの中央値を用いることとした。

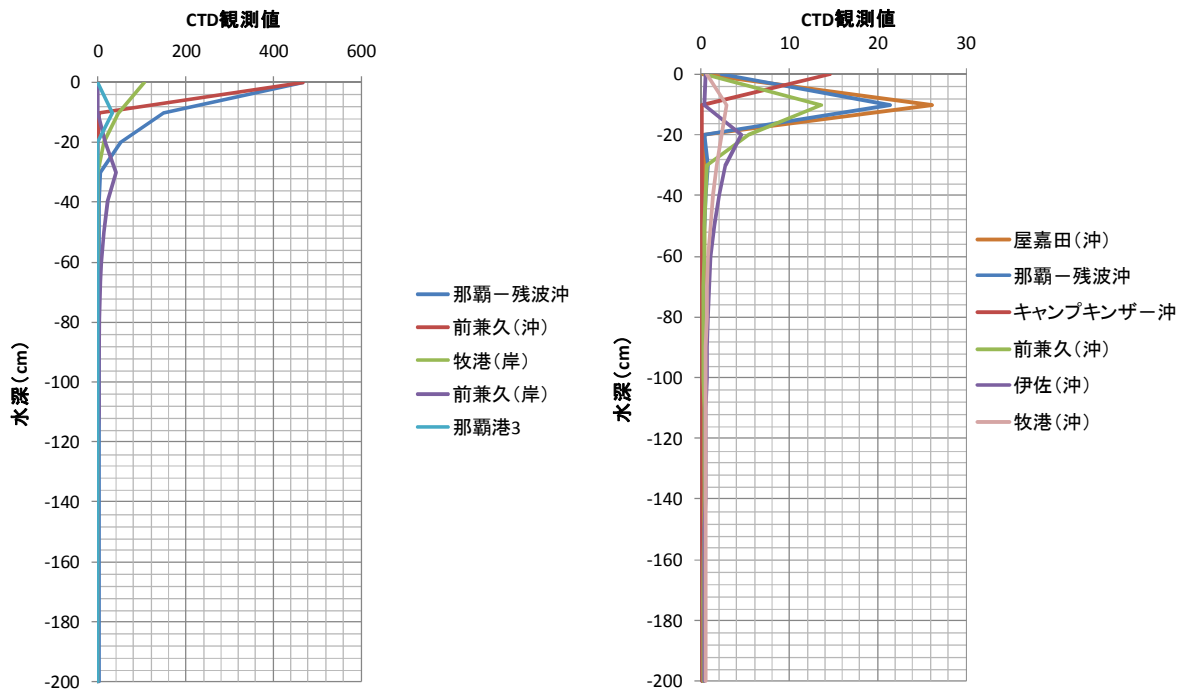


図3-2-10.表層付近で観測エラーを含んでいる恐れがある CTD 観測値の一例(H25-H26).

表3-2-3.表層付近における CTD 観測値(平均値および中央値)とクロロフィル a 量の相関係数(H25-H27).

Chl.a	平均値				中央値						
	0-50 cm	60-100 cm	110-150 cm	160-200 cm	0-50 cm	60-100 cm	110-150 cm	160-200 cm	0-100 cm	110-200 cm	110-200 cm
	0.030	0.605	0.678	0.706	0.162	0.628	0.678	0.709	0.554	0.696	0.699

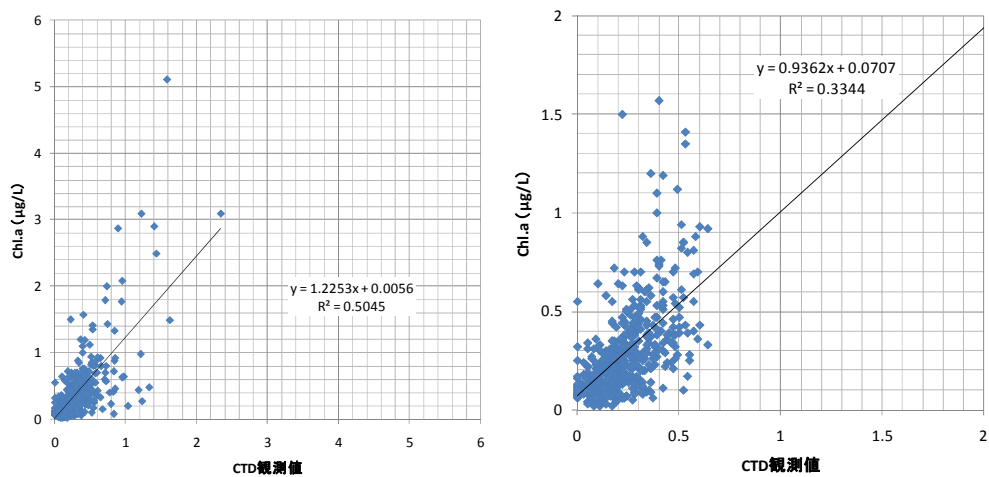


図3-2-11. CTD 観測値とクロロフィル a 量の関係(H25-H27). 代表値として水深 150cm-200cm の中央値を用いたもの. 左:すべてのデータを用いた場合. 右:外れ値を除外した場合.



CTDのクロロフィルセンサは、水中の乱反射や海底からの反射光により、測定値に影響を及ぼすことが知られている。このような反射光は、底質状況や水深に依存することが考えられ、これは調査地点ごとに特徴が異なることが考えられる。表3-2-4に地点ごとの相関係数を示し、特徴を比較するため、その中から相関の低い2地点および相関の高い2地点の散布図を図3-2-12に示す。相関の低い地点では、分布から遠く離れたデータセットが確認できる。これらのデータを削除すると相関が上がるのが推測できるが、同地点の他のデータと比較しても顕著な相違は見当たらない。そのため本報告ではデータを削除することはできなかったが、調査地点ごとにCTD観測値とクロロフィルa量の関係式を求めることは有効と考えられるため、今後も検討を重ねたい。

表3-2-4. 調査地点ごとのCTD観測値とクロロフィルaの関係(H25-H27).  
相関係数および直線回帰式.

	相関係数	回帰式	決定係数
那覇港1	0.327	$y = 0.601x + 0.135$	0.107
那覇港2	0.584	$y = 1.528x - 0.499$	0.341
那覇港3	0.254	$y = 0.265x + 0.126$	0.064
キャンプキンザー沖	0.691	$y = 0.864x$	0.478
牧港(岸)	0.787	$y = 2.118x - 0.195$	0.620
牧港(沖)	0.839	$y = 1.393x + 0.067$	0.705
伊佐(岸)	0.931	$y = 1.962x + 0.153$	0.574
伊佐(沖)	0.839	$y = 1.271x + 0.005$	0.867
北谷	0.860	$y = 2.094x - 0.200$	0.740
比謝川(南)	0.740	$y = 1.759x - 0.112$	0.548
比謝川(北)	0.787	$y = 0.773x + 0.122$	0.620
都屋漁港前	0.301	$y = 0.279x + 0.184$	0.090
残波	0.452	$y = 0.820x + 0.079$	0.205
長浜	0.602	$y = 0.729x + 0.152$	0.362
前兼久(岸)	0.637	$y = 0.726x + 0.119$	0.406
前兼久(沖)	0.427	$y = 0.354x + 0.184$	0.182
屋嘉田(岸)	0.039	$y = 0.074x + 0.257$	0.001
屋嘉田(沖)	0.349	$y = 0.392x + 0.145$	0.121
伊武部	0.856	$y = 3.350x + 0.023$	0.733
名護湾1	0.446	$y = 0.369x + 0.131$	0.199
名護湾2	0.688	$y = 1.228x - 0.031$	0.474
名護湾3	0.721	$y = 1.210x$	0.521
名護湾4	0.271	$y = 0.513x + 0.137$	0.073
名護湾5	0.763	$y = 0.595x + 0.163$	0.582
残波一名護沖	0.064	$y = 0.088x + 0.103$	0.004
那覇-残波沖	0.281	$y = 0.089x + 0.104$	0.079

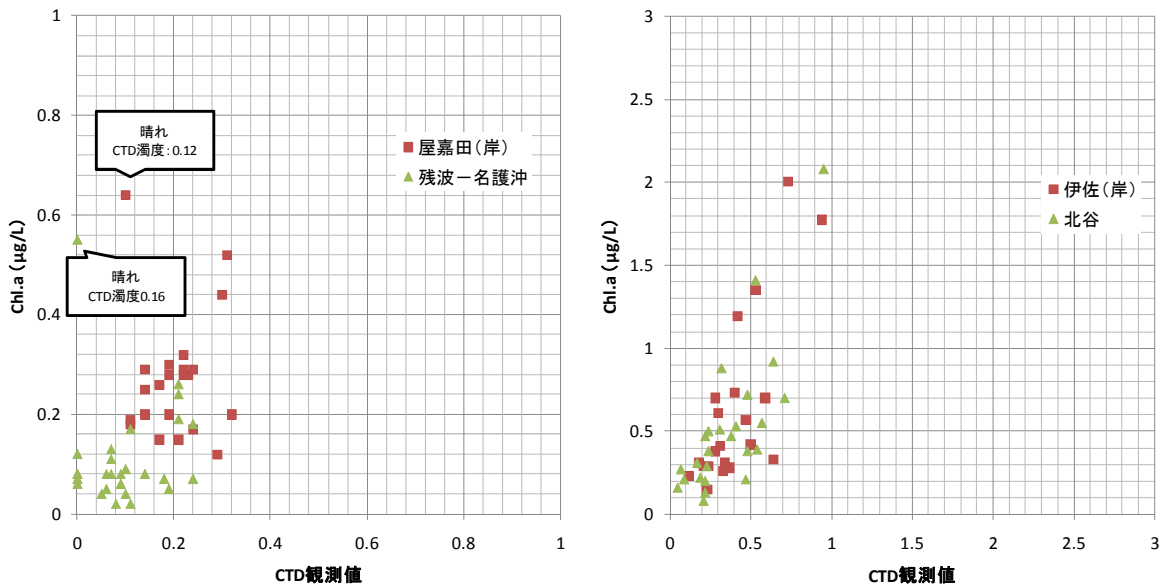


図3-2-12. 調査地点ごとの CTD 観測値とクロロフィル a の関係(H25-H27) (抜粋).  
左: 相関の低い調査地点. 右: 相関の高い調査地点.

光の影響は調査日の日射量にも依存すると考えられるため、調査日および調査野帳に記録されている天候ごとに特徴がみられるか確認することとした。調査日ごとの相関係数を表3-2-5に示す。相関が低いもしくは負の相関となった調査日の傾向として、①CTD 観測値の幅が小さいのに対し、クロロフィル a 量分析値の幅が大きいもの (図3-2-13 (左))、②CTD の濁度観測値が比較的高い場合に分布から離れるもの (図3-2-13 (右)) が見られた。①に関して、分析に係るミスやCTD 濁度観測値も 0.1 未満になっていることからCTD の光学センサの汚れ等が考えられる。また②に関して、濁度がクロロフィルセンサに影響を与えていることが示唆されるが、単純に濁度と比例関係ではないようである。

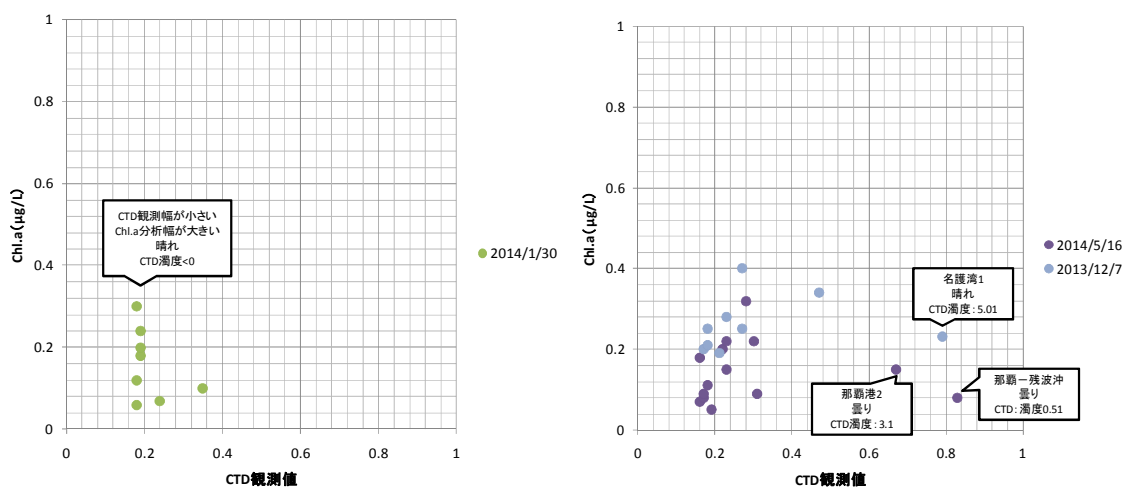


図3-2-13. 調査日ごとの CTD 観測値とクロロフィル a の関係(H25-H27) (抜粋).

表3-2-5. 調査日ごとの CTD 観測値とクロロフィル a の関係 (H25-H27). 相関係数および直線回帰式.

	相関係数	回帰式			決定係数	
2013/4/23	0.487	y =	0.330	x +	0.488	0.237
2013/4/27	0.948	y =	1.339	x +	0.024	0.898
2013/4/28	0.937	y =	1.357	x +	0.067	0.878
2013/5/21	0.458	y =	0.703	x +	0.238	0.210
2013/5/22	0.574	y =	0.504	x +	0.299	0.330
2013/5/30	0.615	y =	3.419	x -	0.064	0.378
2013/6/6	0.507	y =	0.436	x +	0.252	0.257
2013/6/7	0.935	y =	1.580	x -	0.021	0.875
2013/6/18	0.975	y =	3.126	x -	0.219	0.951
2013/6/22	0.991	y =	1.667	x -	0.047	0.981
2013/7/1	0.710	y =	1.430	x +	0.083	0.505
2013/7/3	0.463	y =	1.124	x +	0.069	0.214
2013/7/19	0.940	y =	2.018	x -	0.081	0.883
2013/7/20	0.708	y =	1.166	x +	0.181	0.501
2013/8/7	0.844	y =	1.557	x -	0.099	0.712
2013/8/8	0.379	y =	0.429	x +	0.101	0.144
2013/8/25	0.931	y =	2.770	x -	0.125	0.867
2013/8/26	0.858	y =	2.109	x -	0.183	0.737
2013/9/11	0.525	y =	1.301	x +	0.185	0.276
2013/9/16	0.751	y =	0.828	x +	0.139	0.563
2013/10/9	0.895	y =	1.391	x +	0.009	0.800
2013/10/10	0.823	y =	1.037	x +	0.045	0.677
2013/11/6	0.753	y =	0.748	x -	0.043	0.567
2013/11/9	0.777	y =	0.672	x +	0.000	0.603
2013/12/5	0.718	y =	2.275	x -	0.217	0.516
2013/12/7	0.132	y =	0.045	x +	0.247	0.017
2014/1/7	0.576	y =	0.482	x +	0.157	0.332
2014/1/8	0.695	y =	0.552	x +	0.124	0.483
2014/1/30	-0.420	y =	-0.641	x +	0.287	0.176
2014/2/1	0.719	y =	1.481	x -	0.168	0.517
2014/2/25	0.523	y =	0.967	x -	0.104	0.274
2014/2/26	0.591	y =	0.565	x +	0.046	0.350
2014/5/16	-0.054	y =	-0.021	x +	0.150	0.003
2014/5/17	0.789	y =	0.985	x -	0.012	0.623
2014/6/10	0.520	y =	0.517	x +	0.110	0.271
2014/6/13	0.907	y =	1.645	x -	0.113	0.823
2014/6/25	0.632	y =	1.595	x -	0.057	0.400
2014/7/5	0.232	y =	0.481	x +	0.136	0.054
2014/7/6	0.348	y =	0.215	x +	0.134	0.121
2014/8/13	-0.021	y =	-0.024	x +	0.170	0.000
2014/8/15	0.586	y =	0.410	x +	0.040	0.344
2014/8/16	0.936	y =	1.586	x -	0.210	0.875
2014/9/2	0.740	y =	0.704	x -	0.043	0.548
2014/9/3	0.670	y =	1.193	x -	0.068	0.449
2014/12/8	0.115	y =	0.172	x +	0.291	0.013
2014/12/10	0.847	y =	0.748	x +	0.054	0.718
2015/6/17	0.825	y =	0.681	x +	0.140	0.681
2015/6/21	0.720	y =	1.912	x +	0.062	0.518
2015/6/29	0.980	y =	1.191	x +	0.129	0.961
2015/7/4	0.919	y =	0.854	x +	0.107	0.844
2015/7/23	-0.713	y =	-1.693	x +	0.438	0.508
2015/7/31	0.999	y =	1.272	x +	0.111	0.998
2015/8/1	0.837	y =	1.873	x +	0.158	0.701
2015/8/12	0.751	y =	0.826	x +	0.148	0.563
2015/8/13	0.166	y =	0.509	x +	0.193	0.028
2015/9/1	0.816	y =	0.425	x +	0.124	0.667
2015/9/3	0.627	y =	0.955	x +	0.139	0.393

次に調査野帳に記録されていた天候をもとに特徴が表れるか確認した。天候ごとの相関係数を表3-2-6に示す。細かい天候ごとでははっきりとした関係性が見られない。そこで日射量がCTD観測値に影響を与えると仮定すると、「晴」の時に最も日射量が強く、雲量に比例して弱くなると推察できる。よってここでは大きな2つのグループ、「晴グループ」（晴から始まる天候）と「晴以外のグループ」（曇もしくは雨から始まる天候）に分け、どのような傾向があるか確認した。「晴グループ」では相関係数  $R = 0.747$ 、傾き = 1.406 となり、「晴以外のグループ」では、 $R = 0.647$ 、傾き = 0.686 となった（表3-2-6）。以上のことから晴れて日射量が多い場合CTDは影響を受け、同じクロロフィルa量であっても、日射量が弱い場合（曇や雨）と比較して観測値を小さく表示していると考えられる（図3-2-14）。

表3-2-6. 調査野帳をもとにした天候ごとのCTD観測値とクロロフィルaの関係(H25-H27). 相関係数および直線回帰式.

	相関係数	回帰式	決定係数
雨時々曇	0.114	$y = 0.172x + 0.291$	0.013
雨後曇	0.935	$y = 1.586x - 0.210$	0.875
曇	0.491	$y = 0.583x + 0.187$	0.242
曇一時雨	0.590	$y = 0.527x + 0.111$	0.349
曇時々晴	0.482	$y = 0.359x + 0.064$	0.233
曇時々晴一時雨	0.666	$y = 1.503x - 0.060$	0.445
曇一時雨	0.590	$y = 0.527x + 0.111$	0.349
曇時々雨	0.825	$y = 0.681x + 0.140$	0.681
曇後晴	0.718	$y = 0.574x + 0.107$	0.516
晴	0.783	$y = 1.535x - 0.019$	0.614
晴一時雨	0.348	$y = 0.215x + 0.134$	0.121
晴時々曇	0.591	$y = 0.565x + 0.046$	0.350
晴後一時薄雲、雷を伴う	0.740	$y = 0.704x - 0.043$	0.548
晴後時々雨	0.669	$y = 1.193x - 0.068$	0.449
晴後曇	0.287	$y = 0.704x + 0.155$	0.083
「晴」から始まる天候	0.747	$y = 1.406x - 0.012$	0.558
「晴」以外 ※「曇」や「雨」から始まる天候	0.642	$y = 0.686x + 0.101$	0.413

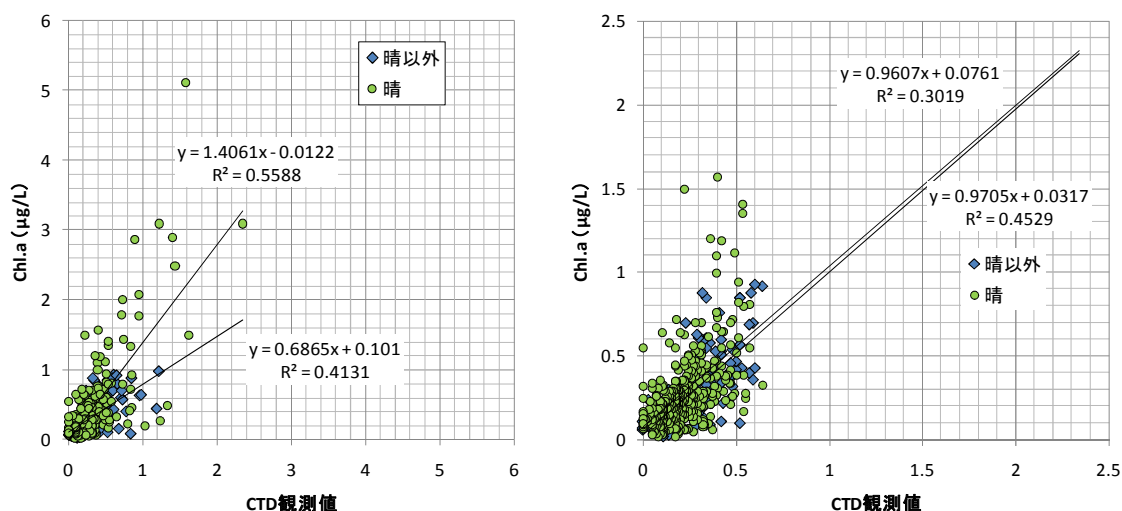


図3-2-14. 天候ごとのCTD観測値とクロロフィルaの関係(H25-H27). 左:すべてのデータを用いた場合. 右:外れ値を除外した場合.

以上のことをまとめると、クロロフィル観測に関してCTDは①濁度の影響を受けている可能性が高く、②光の影響を受けていると考えられる。精度よくCTD観測値からクロロフィルa量を換算するため、全てのデータから、CTD濁度の分布において極端に大きな値および小さいデータを除外し、「晴」のデータを抽出した。その結果（散布図）を図3-2-15に示す。ここで除外したデータは、CTD濁度観測値の四分位値を用い、以下の範囲で示される。

$$\text{CTD 濁度観測値} < \text{第1四分位} - 1.5 \times \text{IQR (第3四分位} - \text{第1四分位)} \dots \text{①}$$

$$\text{CTD 濁度観測値} > \text{第3四分位} + 1.5 \times \text{IQR (第3四分位} - \text{第1四分位)} \dots \text{②}$$

具体的には、①は負の値となり除外できるデータはなく、②からCTD濁度観測値が0.58を超過したものを除いた。またここで、「晴」のデータを選択したのは、今後のモニタリングを考慮した際、調査の安全および公共用水域の調査時期の目安として「雨の影響を避けること」、「数日間前から比較的晴天が続く、比較的水質が安定した通常の状態」が示されており、この条件で実施されると考えられるためである。これらの作業により、相関係数は $R = 0.759$ まで上昇し、回帰式から求められるクロロフィルa量 =  $0.25 \mu\text{g/L}$ となるCTD観測値は0.183となった。

また、CTDのクロロフィルセンサの構造上、受光部のバンド幅が広がっているため、クロロフィルaのみならずフェオフィチンaなどの色素まで観測していると考えられる。室内分析ではバンド幅を小さくすることで効率よくクロロフィルaのみを分析しているため、フェオフィチンaの影響は小さい。今後は更なる検証のため、室内分析においてもフェオフィチンaの分析を考慮する必要がある。

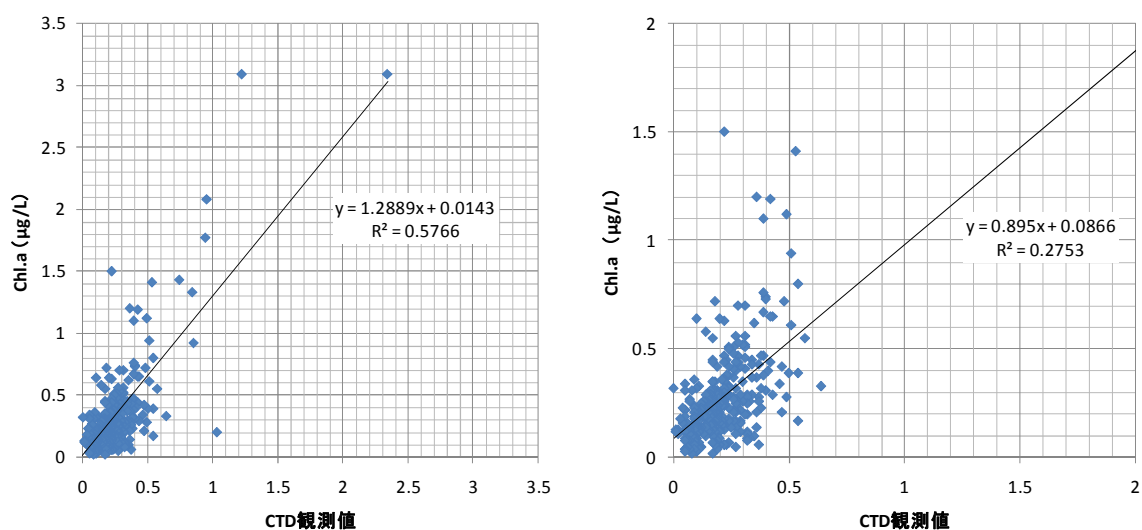


図3-2-15. 高濁度データを除き天候が「晴」のデータを用いた場合のCTD観測値とクロロフィルaの関係(H25-H27). 左:すべてのデータを用いた場合. 右:外れ値を除外した場合.

## (2) CTD 機器相互間の関係

今年度はさらに異なる CTD を 2 機種 (表 3-2-7) 用意し、それぞれを同時に測定することで機種間の誤差の確認や、サンゴ礁域でのクロロフィル a のモニタリングに適した手法や機種を検討した。

国内で購入できる CTD は 1 機種に限らず、複数のメーカーが複数の機種を販売している。今後、モニタリングを実施していく中で、CTD 機種間で観測結果に誤差が生じているのであれば、データの比較が困難となり適切な評価が行えない。そこで機種が異なる複数の CTD で同時観測を行い、観測値について比較した。用意した CTD は表 3-2-7 の 3 機種で、分光検出器の構造や測定範囲などの特徴がそれぞれ異なる。3 機種の観測結果の関係を図 3-2-16 に示す。3 機種間での相関は非常によく ( $R = 0.86 \sim 0.92$ )、直線性を示す決定係数も高い ( $r^2 = 0.74 \sim 0.85$ ) が、傾きは 0.7~2.2 となっており 1 対 1 の関係 (傾きが 1) にはなっていない。今年度確認した 3 機種は、それぞれが環境中のクロロフィル量を同様に観測していることが考えられるが、等しい値ではないため、CTD に表示された観測値をそのまま評価に用いることはできず、CTD をモニタリングに用いる際は、実験室においてクロロフィル a を用いた校正を行うか、同一の機種を使い続ける必要があると考えられる。

表3-2-7. モニタリングに使用した CTD とその特徴.

メーカー名	機種名 型番	構造的長	期待される効果	測定範囲	分解能(感度)	精度
JFEアドバンテック	RINKO-Profiler ASTD102	光源と蛍光検出器が本体下部に位置する		0-400ppb	0.01ppb	±1%FS, ゼロドリフト±0.1%
JFEアドバンテック	INFINITY-CLW ACLW-USB	構造はASTD102と同様. 蛍光検出器にフィルターが装着され低濃度領域の測定が安定する	低濃度域の値の安定	0-400ppb	0.01µg/L	±1%FS
WET Labs	WETStar	光源と蛍光検出器が本体内部に位置する	反射光などの影響を受けにくい	0.03-75µg/L	0.03µg/L	—

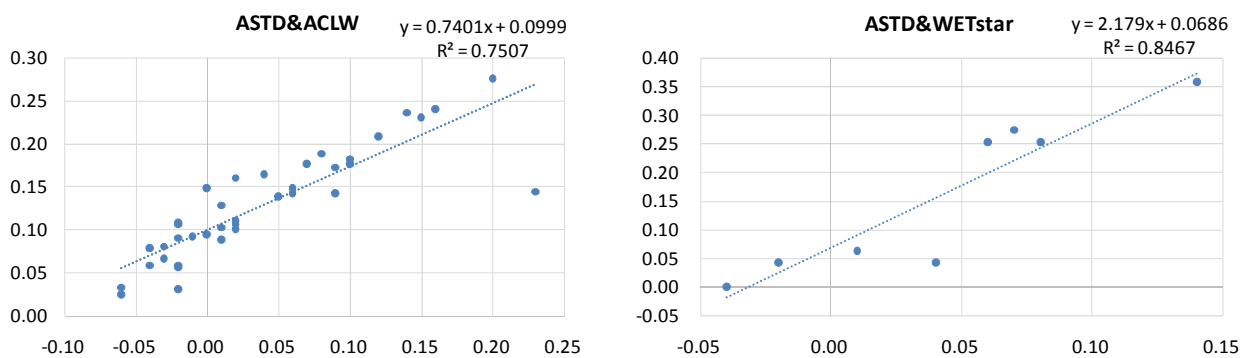


図3-2-16. モニタリングに用いた CTD 機種の違いによる観測値の関係.

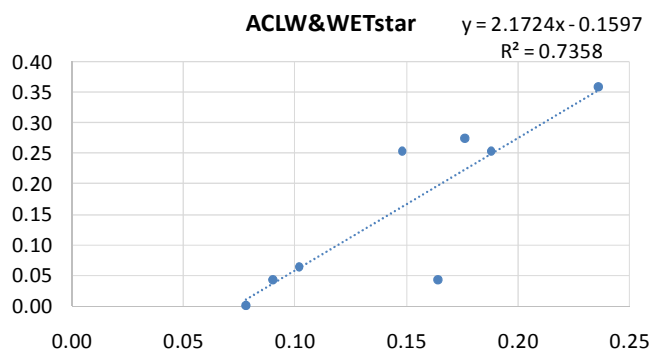


図3-2-16. モニタリングに用いた CTD 機種の違いによる観測値の関係(続き).

### 2-4-3. クロロフィル a 濃度とオニヒトデ幼生の分布

これまででは沖縄島の西海岸における水質の濃度分布や季節変動など現況把握に努めてきており、概況は把握しつつある。しかし重要と考えられる水質(クロロフィル a 量)とオニヒトデ幼生の分布(在不在やその密度)については未解明のままである。今年度は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 濃度のモニタリングを実施しており、ここではクロロフィル a 量とオニヒトデ幼生の在不在の関係について検討することとした。表3-2-8にプランクトンネットによるオニヒトデ幼生のサンプリング状況を示す(第3章5. 幼生分散のデータを引用)。

表3-2-8. プランクトンネットによるオニヒトデ幼生のサンプリング状況. ○: 検出, ×: 不検出.

	地点名	7/21	7/22	7/31	8/14	8/27	9/1	9/2	9/3
全域	1 名護湾5								×
	2 残波-名護湾								×
	3 伊武部								×
	4 前兼久(沖)								×
	5 長浜	×							×
	6 那覇港3(沖)								×
恩納	1 伊武部				×	×		×	
	2 名嘉真(南)P25cm				×	×		×	
	3 安富祖P				×	×		×	
	4 万座P	×			×	○		○	
	5 万座(水路)P25cm				×	×		×	
	6 屋嘉田P				×	×		×	
	7 前兼久(沖)	○			○	×		×	
	前兼久表層					×		○	
	前兼久水深3m					×			
	8 久良波P25cm				×	×		×	
9 長浜				○	○		×		
長浜表層					○		×		
10 長浜(岸)P25cm				×	×		×		
砂辺	1 比謝川(北)P25cm						×		
	2 北谷P		×	○			×		
	3 北谷 P25cm						×		
	4 伊佐(沖)P25cm						×		
	5 マリーナ沖 P25cm						○		
	6 キャンプキンザーP						×		

オニヒトデ幼生の存在で、クロロフィル a 濃度を比較すると、その幾何平均は検出された場合で  $0.26 \mu\text{g/L}$  と不検出の場合 ( $0.19 \mu\text{g/L}$ ) よりも高くはなっているが、5%水準で有意な差は見られない (表 3-2-9)。今年度はモニタリング手法の途中変更により、オニヒトデ幼生が最も多い時期に、オニヒトデ幼生を捕捉できなかった恐れがあることや、検出された地点の水質のデータセットがクロロフィル a に限られてしまったため、オニヒトデ幼生と水質との関係を十分に考察できなかった。以上のことをふまえ、次年度の計画ではサンプリング計画を再考していきたい。

表3-2-9. オニヒトデ幼生の存在とクロロフィル a 濃度.

	検出	不検出
クロロフィルa濃度の平均 ( $\mu\text{g/L}$ )	0.26	0.19
サンプル数 (n)	9	41

(今後の予定)

- ・水質分析結果を精査する (再分析を含む)。
- ・残っているクロロフィル a サンプルについて、フェオフィチン a を分析する。
- ・水質分析結果と CTD、クロロフィル a 濃度の関係を解析する。
- ・オニヒトデ幼生の分布密度と水質の関係把握に努める
- ・これまでの調査結果および他の研究課題において、オニヒトデ幼生の餌として、植物プランクトンのみならず多様な有機物が示唆されたため、特に有機物量 (TOC や DOC) とオニヒトデ幼生密度との関係について考察する。
- ・効率的なモニタリング手法 (地点・頻度・分析項目など) を検討する。

以上のことを踏まえ、次年度のモニタリングでは、沖縄島西海岸の水質の特徴を継続して把握することを目的に次のように考えている

- ・モニタリング地点は今年度と変更せず同地点でのモニタリングを継続する
- ・プランクトンネット調査地点においても水質調査を実施する  
(最低でもクロロフィル量および TOC、DOC は必須項目とし、可能な限りこれまでの分析項目を取り扱うものとする)

#### <参考文献>

- 1) Fabricius, K. E., Okaji, K., De'ath, G. (2010) Three lines of evidence to link outbreaks of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* to release of larval food limitation, coral reefs, 29, 593-605.
- 2) JFE アドバンテック株式会社ホームページ、<http://www.jfe-advantech.co.jp> (2015年3月13日現在)
- 3) Kanda J (1995) Determination of ammonium in seawater based on indophenols reaction with o-phenylphenol (OPP)、Wat. Res.、29、2746-2750



- 4) Okaji, K. (1996) Feeding ecology in the early life stages of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*, coral reefs, 16, 47-50.
- 5) Oliver W (2009) 3 Spectrophotometric and Chromatographic Analysis of Carbohydrates in Marine Samples, Practical guidelines for the Analysis of Seawater, 56-57, CRC Press.
- 6) 日本海洋学会編 (1990) 沿岸環境調査マニュアルⅡ (水質・微生物編)、89-92、恒星社厚生閣.

### 3. クロロフィル濃度分布衛星観測データ解析

山川英治（沖縄県環境科学センター）

#### 3-1. 目的

幼生生き残り仮説では、植物プランクトン量（クロロフィル量）が増加することでオニヒトデ幼生の生残率が高まり、大量発生を引き起こすとされている。近年、ハワイやバヌアツ諸島、パラオ諸島では、大量発生したオニヒトデ集団が産まれた年に、オニヒトデ幼生の浮遊期（7月～8月）のクロロフィル量が増加していたことが衛星観測データ解析によりつきとめられた（Houk et al., 2007; Houk et al., 2010）。

人工衛星によって取得された観測データを解析して、大量発生を引き起こした年級群が産まれた年のクロロフィル a 濃度の分布や傾向を解析し、オニヒトデ大量発生と植物プランクトン量（クロロフィル量）の関係を推定することを目的とし、恩納村や座間味諸島、八重山諸島周辺で起きた大量発生と衛星観測データから得られるクロロフィル a 濃度の関係を調べた。具体的には、最近の十数年間でオニヒトデの大量発生が起きた年の 2 年前または 3 年前と、それらの前後の年の 6 月から 8 月にかけて取得された衛星観測データを解析してクロロフィル a 濃度を比較した。

また、本事業の平成 25 年度および平成 26 年度水質モニタリング結果と衛星観測データを比較し、オニヒトデ大量発生の予測に関する水質モニタリング手法としての有用性についても検討することを目的とした。

#### 3-2. 調査方法

宇宙航空研究開発機構(JAXA)/東海大学(TSIC/TRIC)が数値化し提供している NASA の MODIS バイナリデータを使用した。MODIS のバイナリデータを GIS ソフトで読み込み、陸や雲などのデータを null 値処理したあと、クロロフィル a 濃度の物理量に変換し、沖縄周辺海域のクロロフィル a 濃度について解析した。衛星観測データの処理にあたっては、Grass GIS および QGIS を使用した。

##### 3-2-1. 水質モニタリング結果との比較

衛星観測データから推定されるクロロフィル a 濃度は、沿岸域においては、陸域起源と考えられる懸濁物質（SS）や有色溶存有機物（CDOM）の影響を受ける。そのため、平成 25 年度および平成 26 年度オニヒトデ総合対策事業で実施した水質モニタリングデータと比較した。衛星観測データは、平成 25 年度および平成 26 年度に実施した採水日の Terra/Aqua 衛星の 500m 解像度の MODIS 衛星観測データを使用し、衛星観測データの中心点が採水地点から半径 500m の範囲に含まれるクロロフィル a 濃度推定値を用いた。

##### 3-2-2. オニヒトデ幼生生存可能濃度頻度分布

衛星観測データは、Terra/Aqua 衛星の 1km 解像度の MODIS 衛星観測を使用した。2004 年から 2015 年の 6 月から 8 月にかけての観測データを GIS 化した。GIS 化した各クロロフィル a 濃度（ $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上）の出現回数をカウントし、各クロロフィル a 濃度の出現頻度を算出した。

### 3-3. 結果

#### 3-3-1. 水質モニタリング結果との比較

2013年4月から2014年12月までの水質モニタリングデータのべ516地点のうち、外れ値を除いた同日同地点の衛星観測データは、MODIS (TERRA)が225地点、MODIS (AQUA)が175地点であった。

TERRA と AQUA の衛星観測データと水質モニタリングデータの関係を図3-3-1に示した。図3-3-1は外れ値を除き、同日の衛星観測データが複数ある場合は、クロロフィルa濃度推定値を各衛星と水質の測定地点毎に平均化している。衛星観測データから推定されたクロロフィルa濃度と水質モニタリングのクロロフィルa濃度には相関がなく ( $r=0.1734$ ,  $p=0.002$ )、傾きは0.307であった。

AQUA の衛星観測データと水質モニタリングデータの関係を図3-3-2に、TERRA の衛星観測データと水質モニタリングデータの関係を図3-3-3に示した。AQUA の衛星観測データから推定されたクロロフィルa濃度と水質モニタリングのクロロフィルa濃度にはほとんど相関はなく ( $r=0.2841$ ,  $p=0.0001$ )、傾きは0.620であった。TERRA の衛星観測データから推定されたクロロフィルa濃度と水質モニタリングのクロロフィルa濃度には相関はなく ( $r=0.0369$ ,  $p=0.582$ )、傾きは0.217であった。

沿岸から少し距離のある沖合の地点(那覇-残波、残波-名護湾)の、衛星観測データと水質モニタリングデータの関係を図4に示した。衛星観測データから推定されたクロロフィルa濃度と水質モニタリングのクロロフィルa濃度には相関はなく ( $r=0.1162$ ,  $p=0.534$ )、傾きは0.891であった。

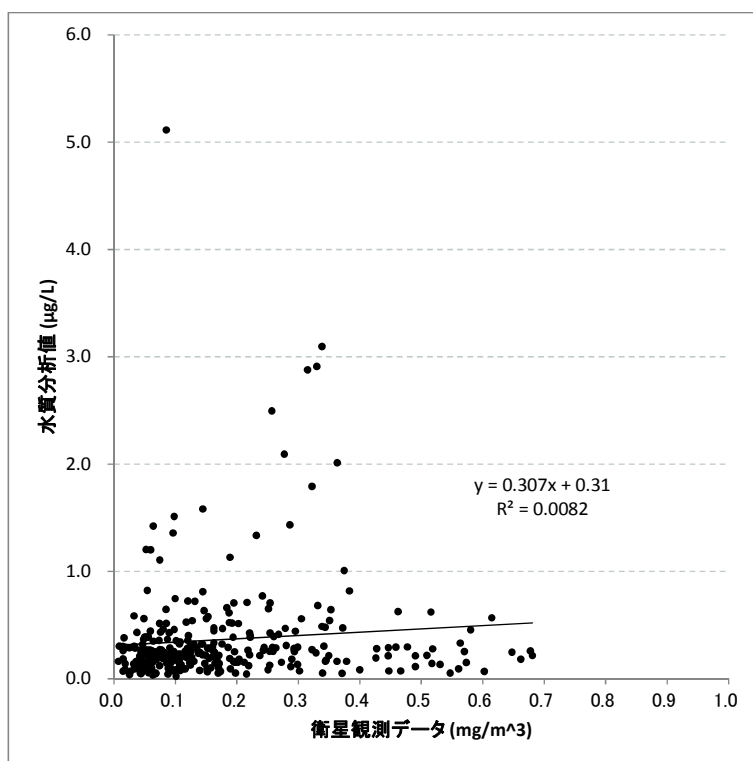


図3-3-1. TERRA と AQUA の衛星観測と水質モニタリングのクロロフィル a 濃度の関係.

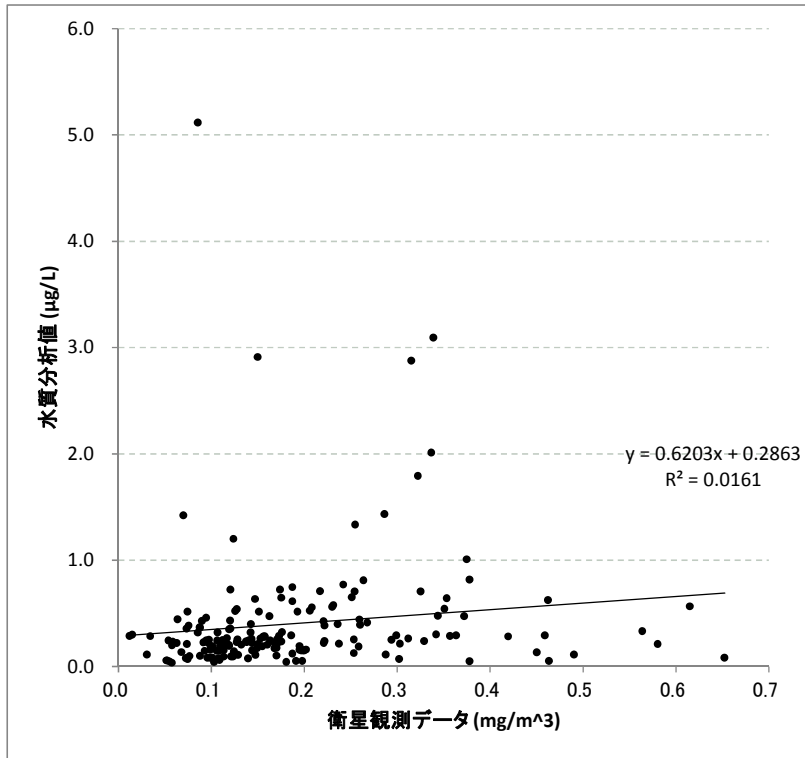


図3-3-2. AQUA の衛星観測と水質モニタリングのクロロフィル a 濃度の関係.

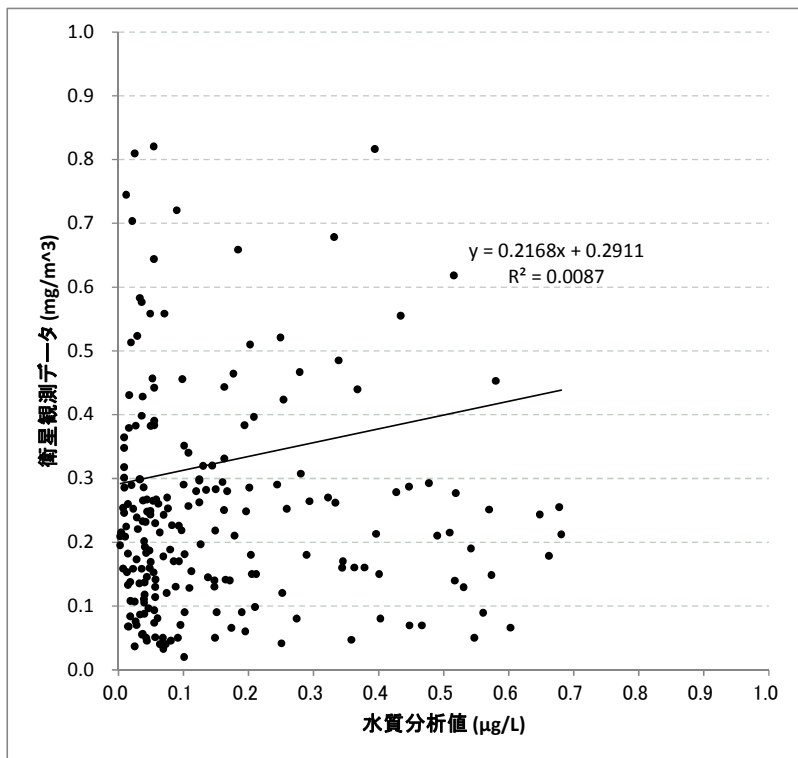


図3-3-3. TERRA の衛星観測と水質モニタリングのクロロフィル a 濃度の関係.

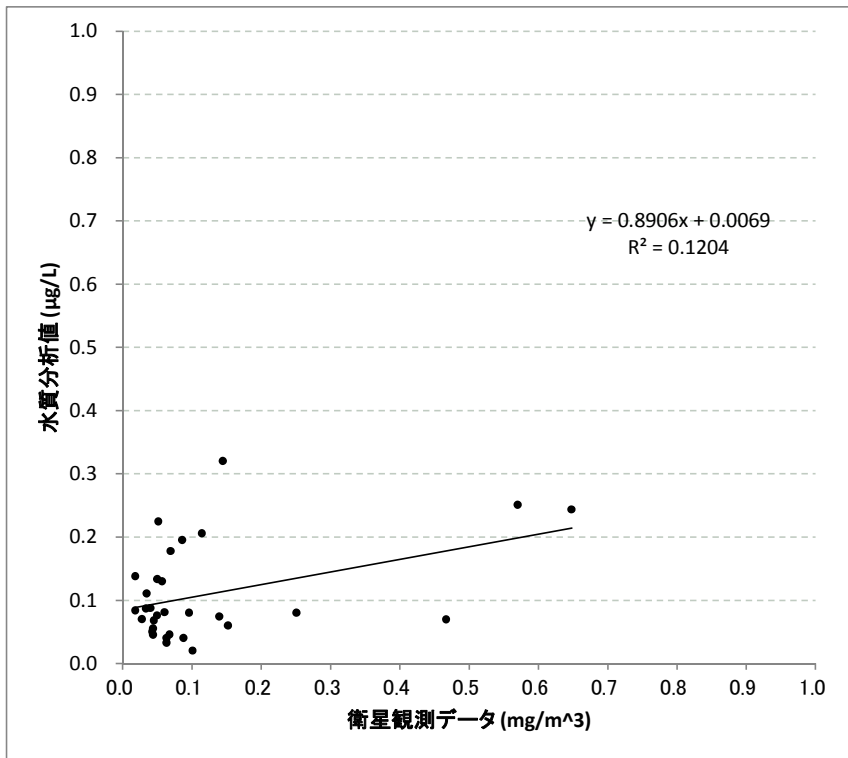


図3-3-4. 沖合地点(那覇-残波、残波-名護湾における)AQUAの衛星観測と水質モニタリングのクロロフィル a 濃度の関係。

### 3-3-2. オニヒトデ幼生生存可能濃度頻度分布

2005年から2015年の6月から8月におけるクロロフィルa濃度 ( $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 以上) の出現頻度を図3-3-6から図3-3-16に示す。また、

全体的に中国大陸や台湾付近、島の周りでクロロフィルa濃度 ( $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 以上) の出現頻度が高い。2005年、2008年、2009年、2010年、2011年のクロロフィルa濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の出現頻度は、沖縄島から八重山の範囲を含み広い範囲で高くなっている。一方で、2012年、2013年のクロロフィルa濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の出現頻度は、他の年と比べて低くなっている。全ての年のクロロフィルa濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の出現頻度をグラフにすると(図3-3-5)、2005年、2008年、2009年、2010年、2011年の頻度分布は他の年と大きく異なっていた。

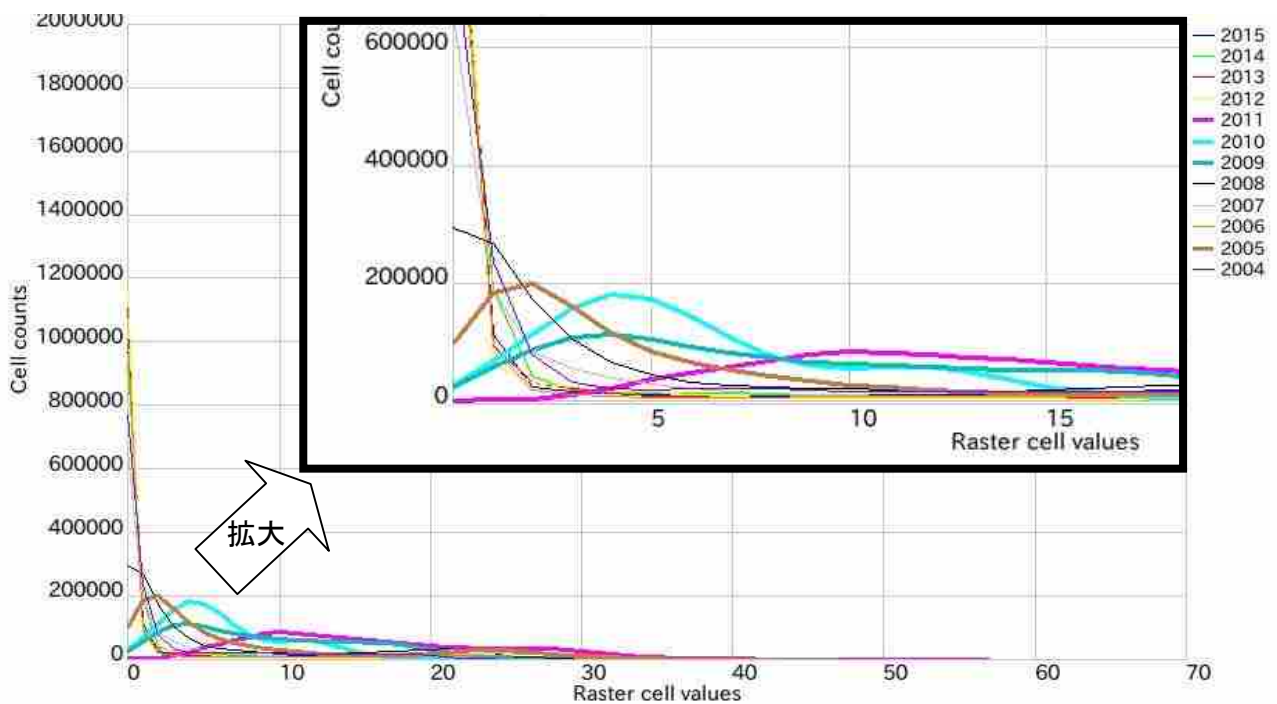


図3-3-5. MODIS データ2005年から2015年の6月から8月におけるクロロフィルa濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の出現頻度.

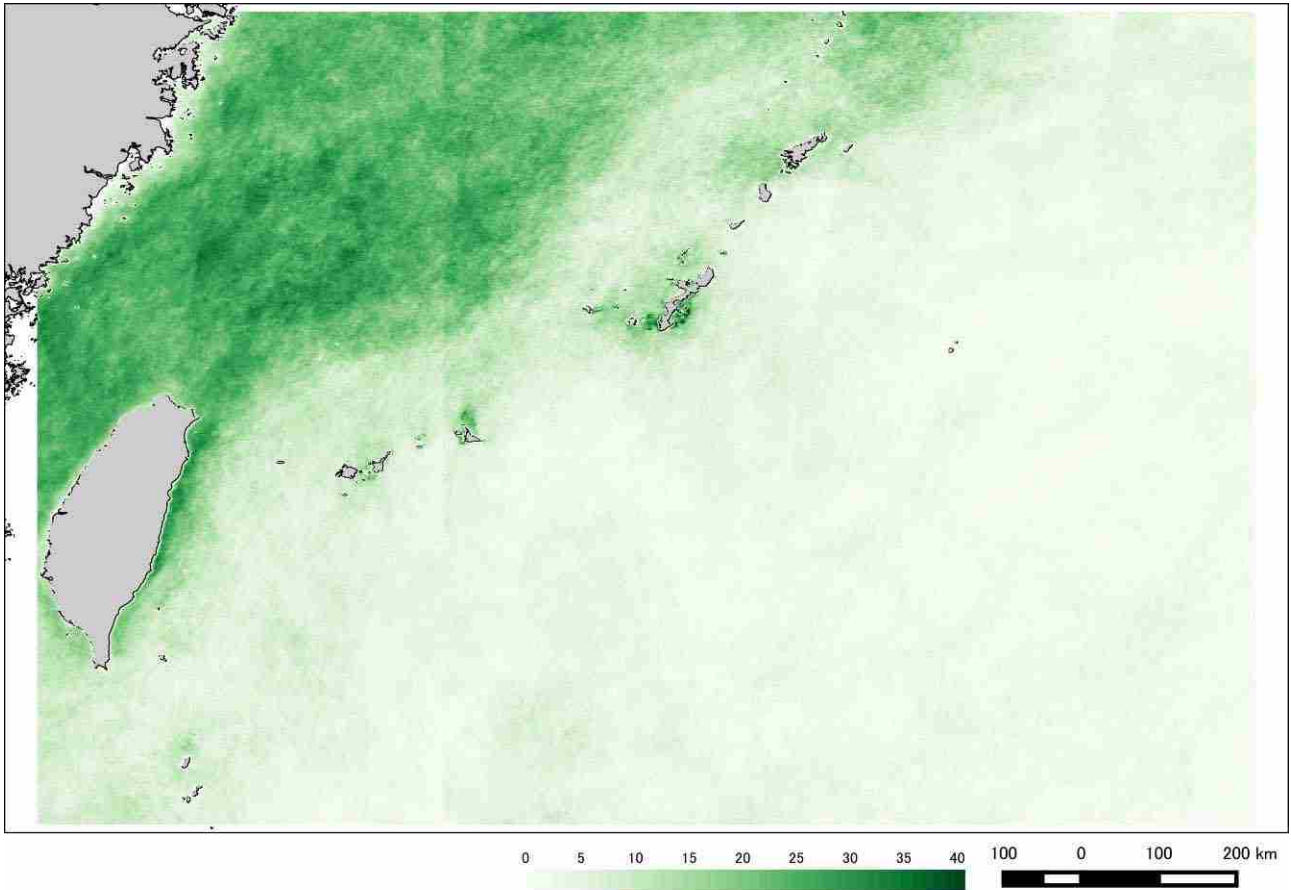


図3-3-6. MODIS データ 2005 年 6 月から 8 月におけるクロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) / 東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

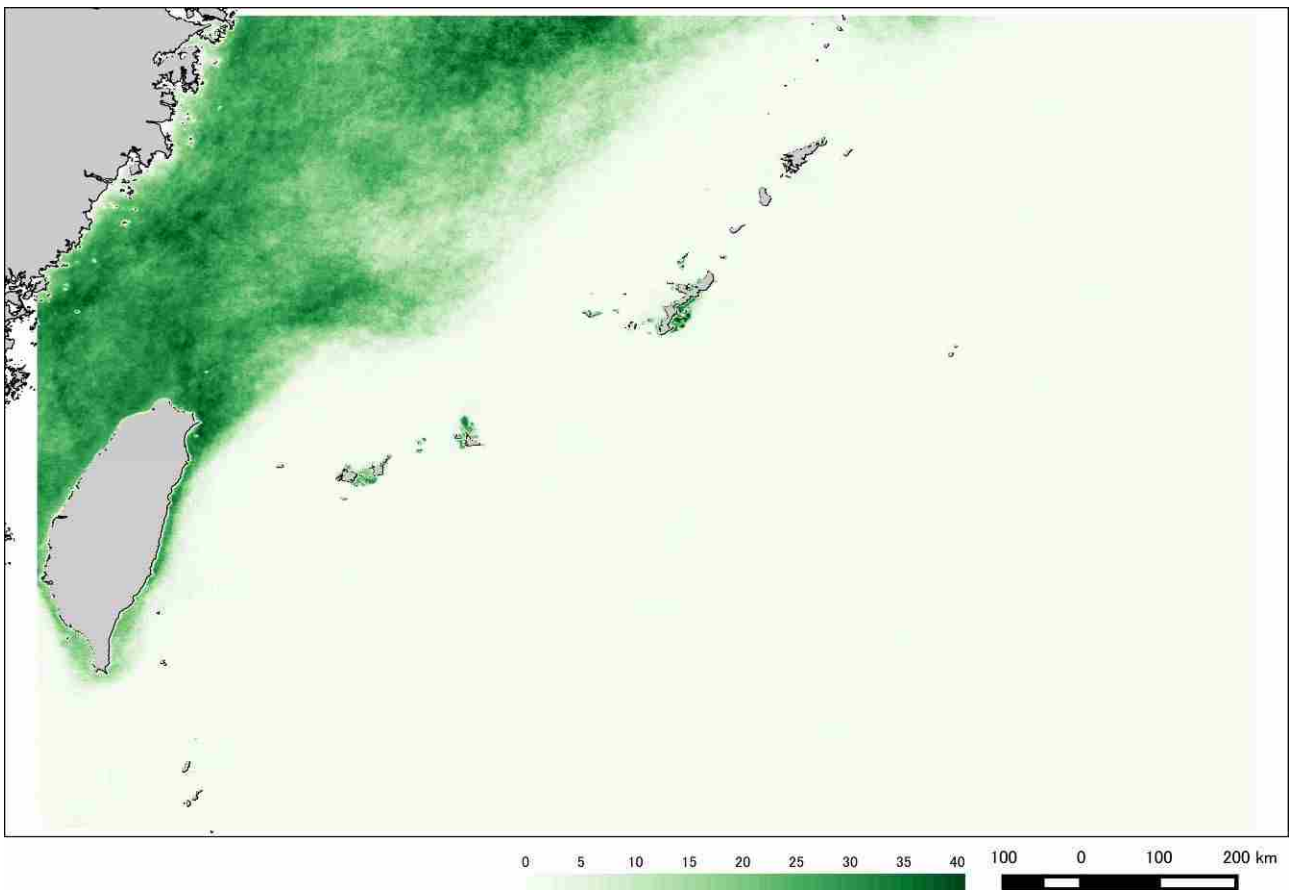


図3-3-7. MODIS データ 2006 年 6 月から 8 月におけるクロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) / 東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

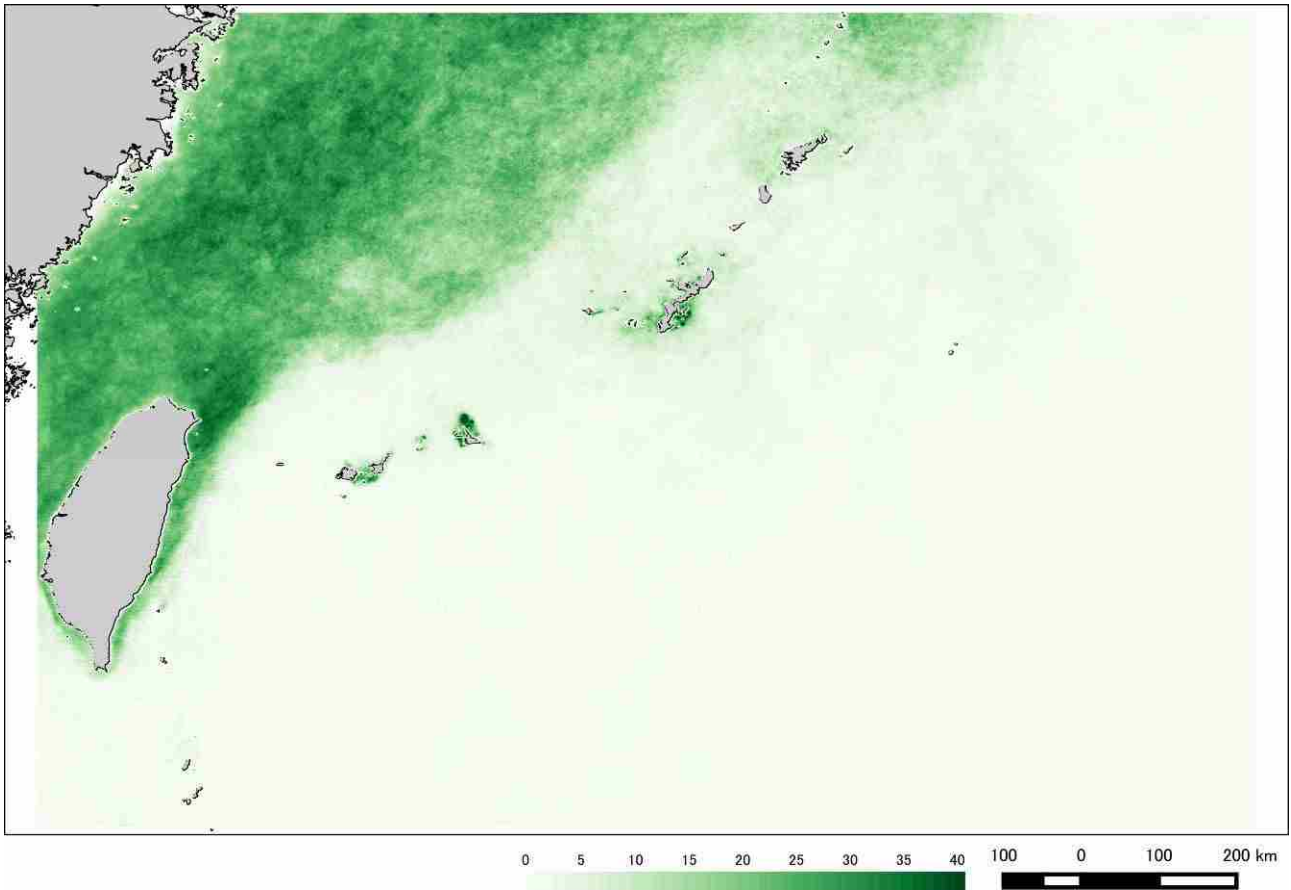


図3-3-8. MODIS データ 2007 年 6 月から 8 月におけるクロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) / 東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

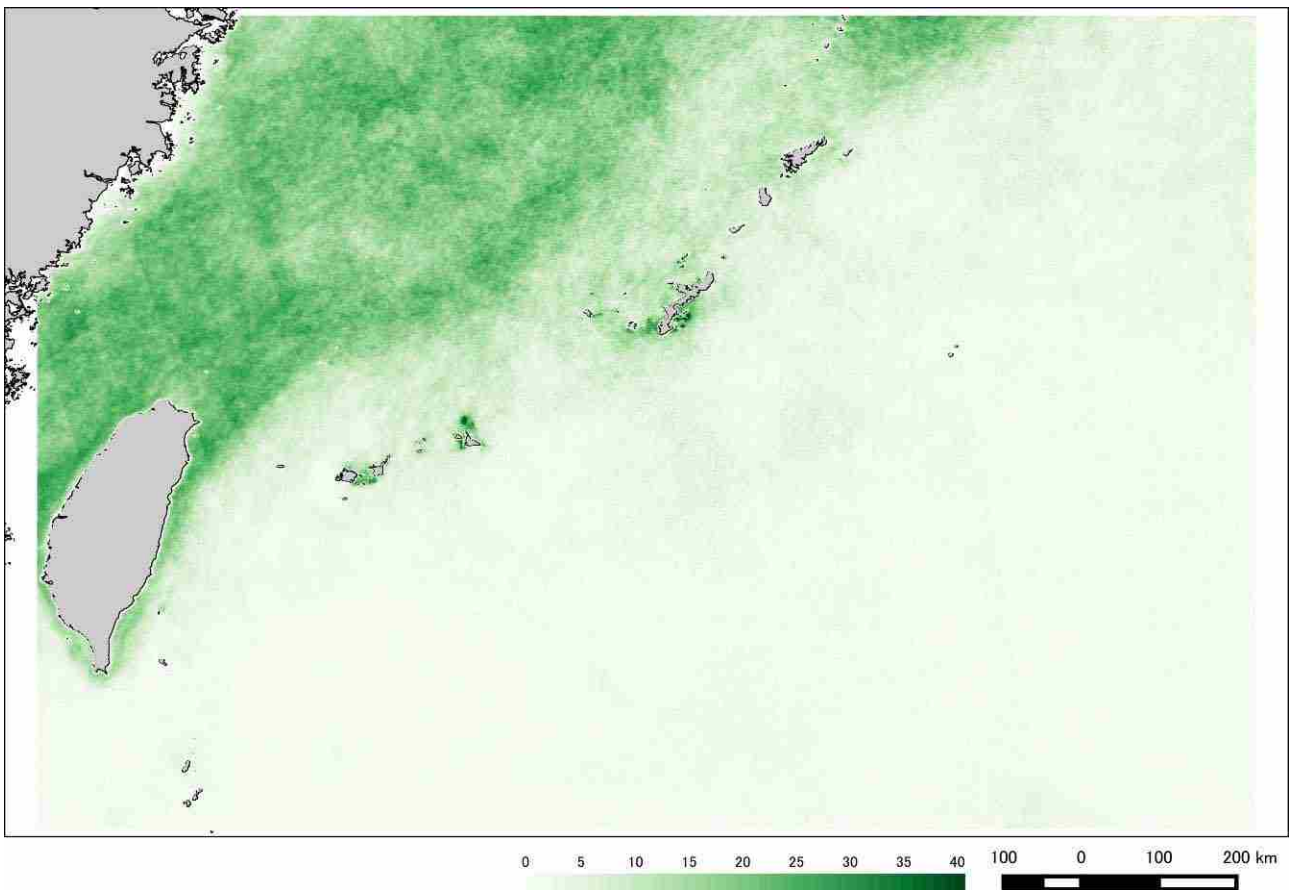


図3-3-9. MODIS データ 2008 年 6 月から 8 月におけるクロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) / 東海大学 (TSIC/TRIC) 提供



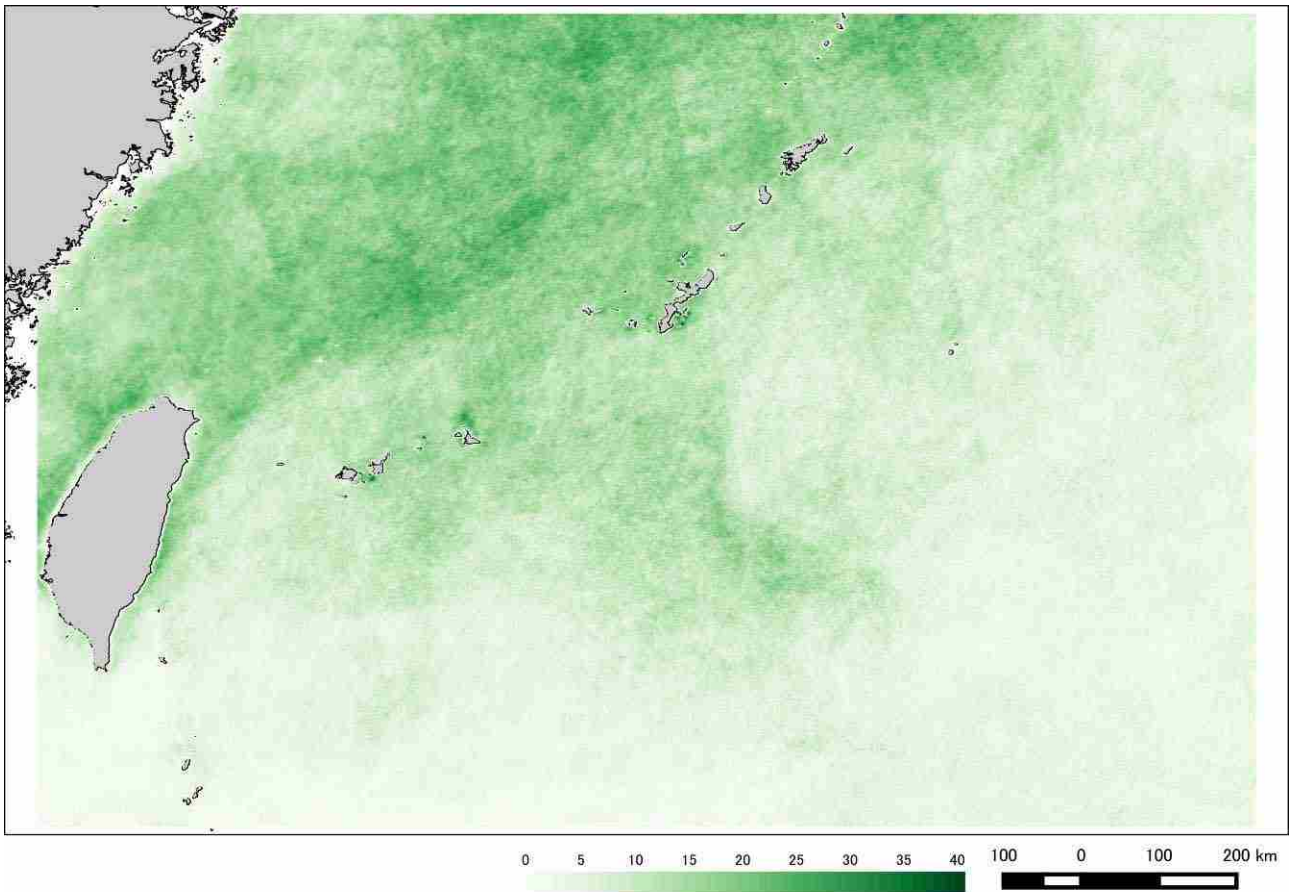


図3-3-10. MODIS データ 2009 年 6 月から 8 月における  
クロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) /  
東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

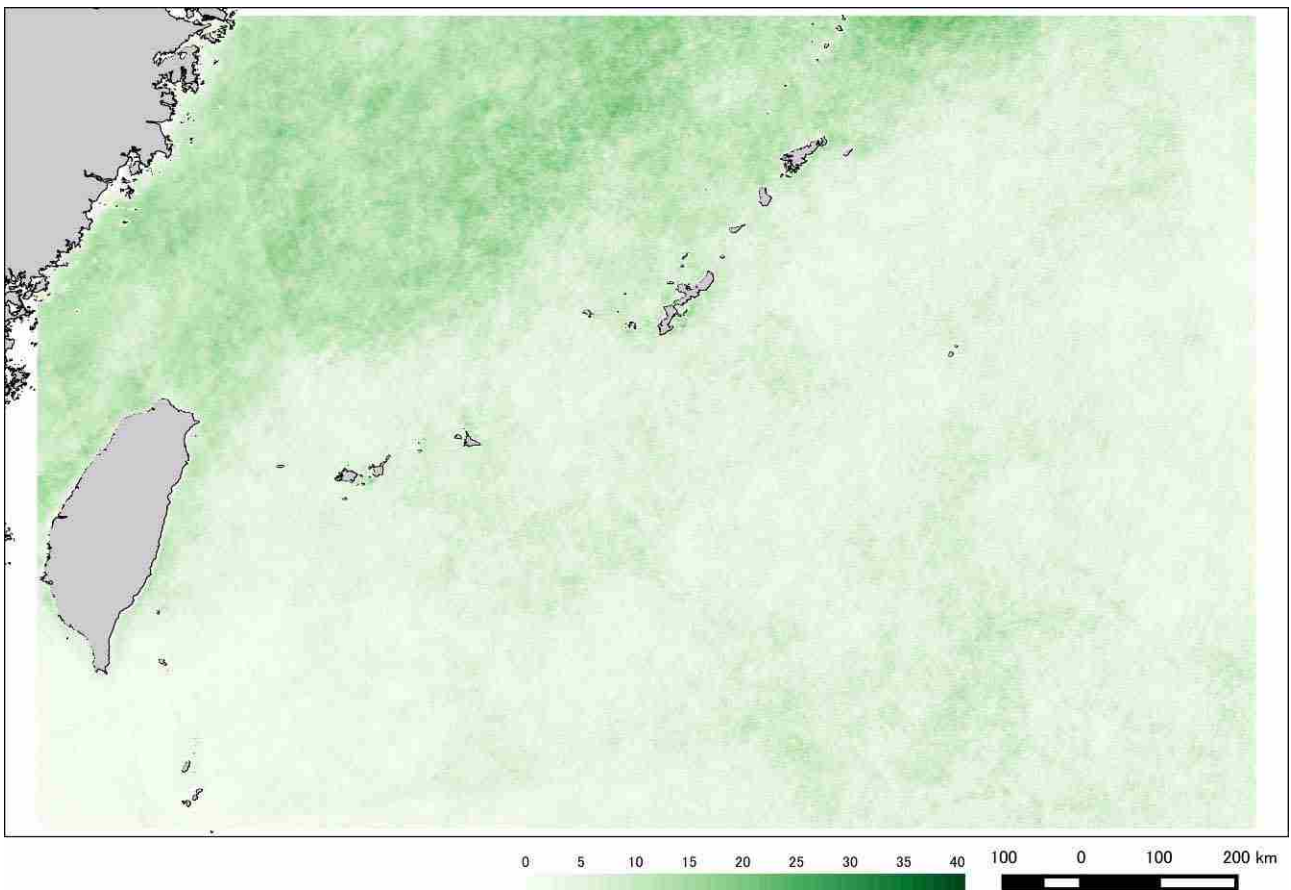


図3-3-11. MODIS データ 2010 年 6 月から 8 月における  
クロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) /  
東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

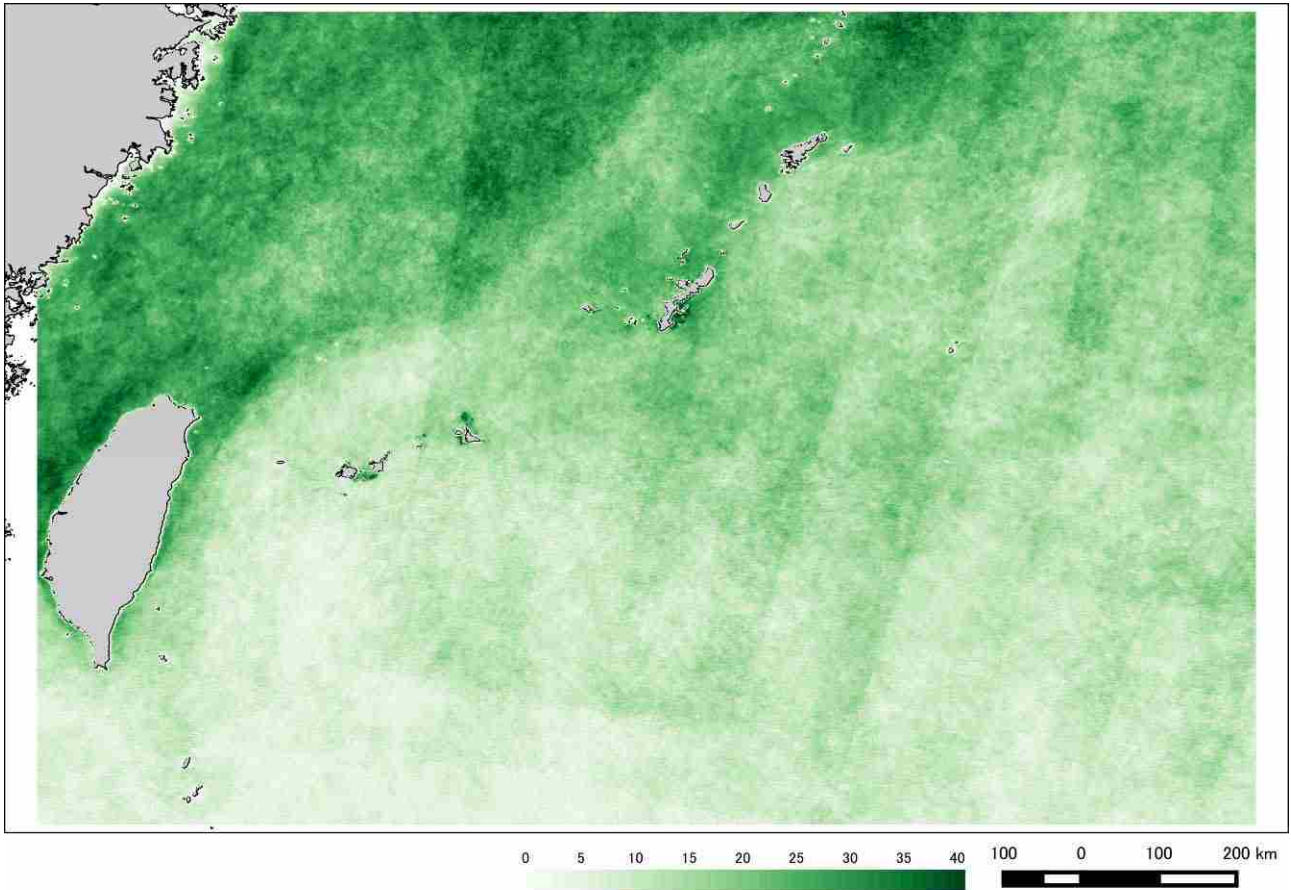


図3-3-12. MODIS データ 2011 年 6 月から 8 月における  
クロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) /  
東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

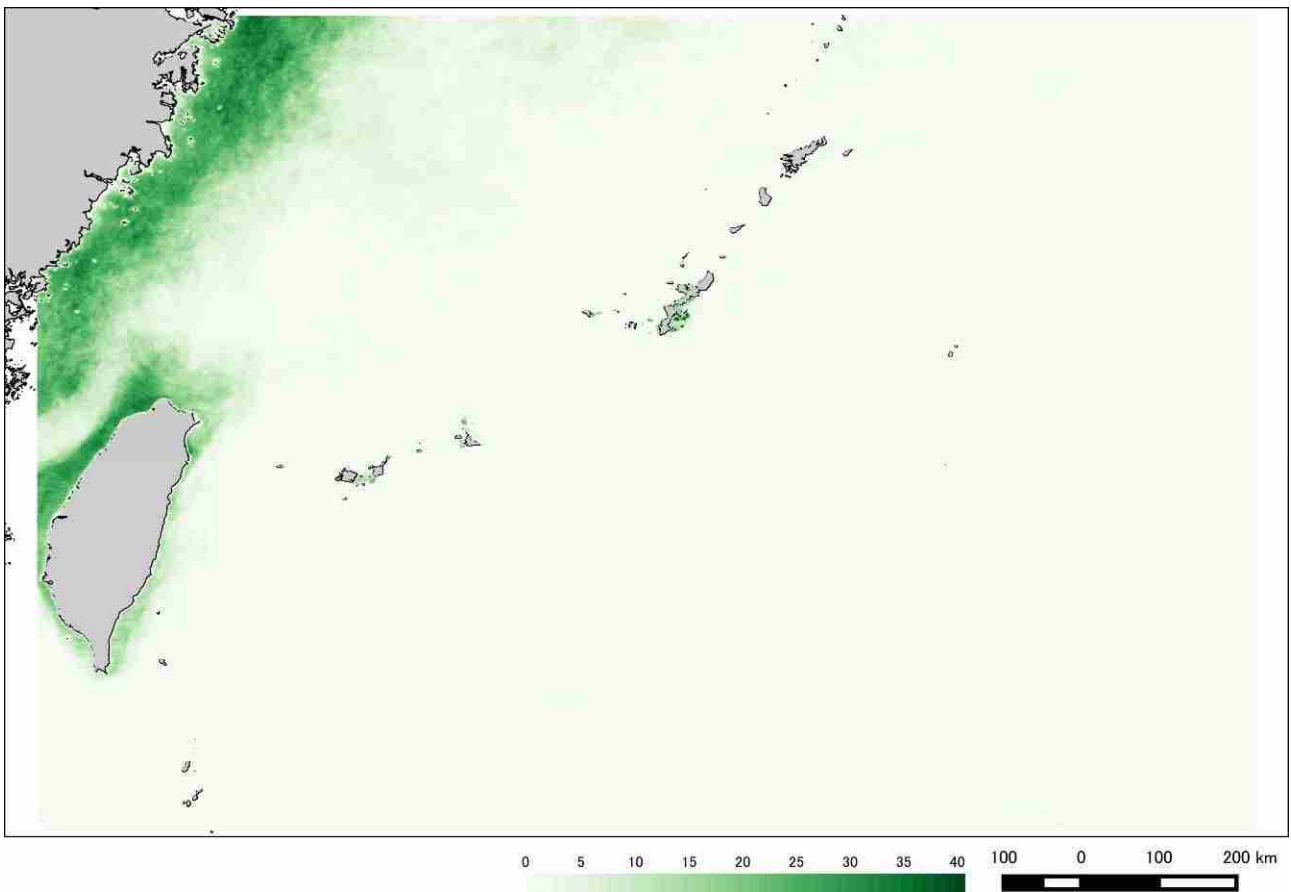


図3-3-13. MODIS データ 2012 年 6 月から 8 月における  
クロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) /  
東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

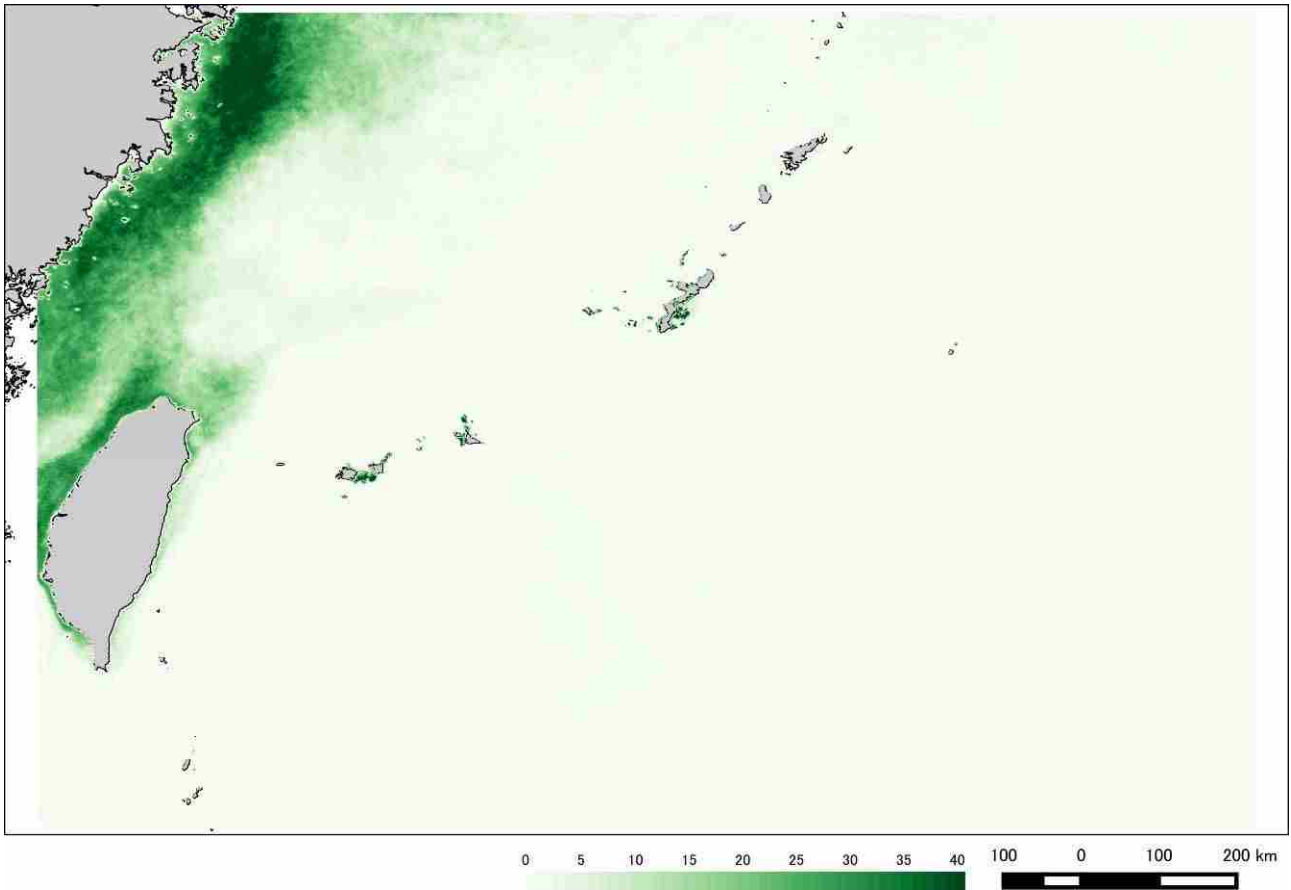


図3-3-14. MODIS データ 2013 年 6 月から 8 月における  
クロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) /  
東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

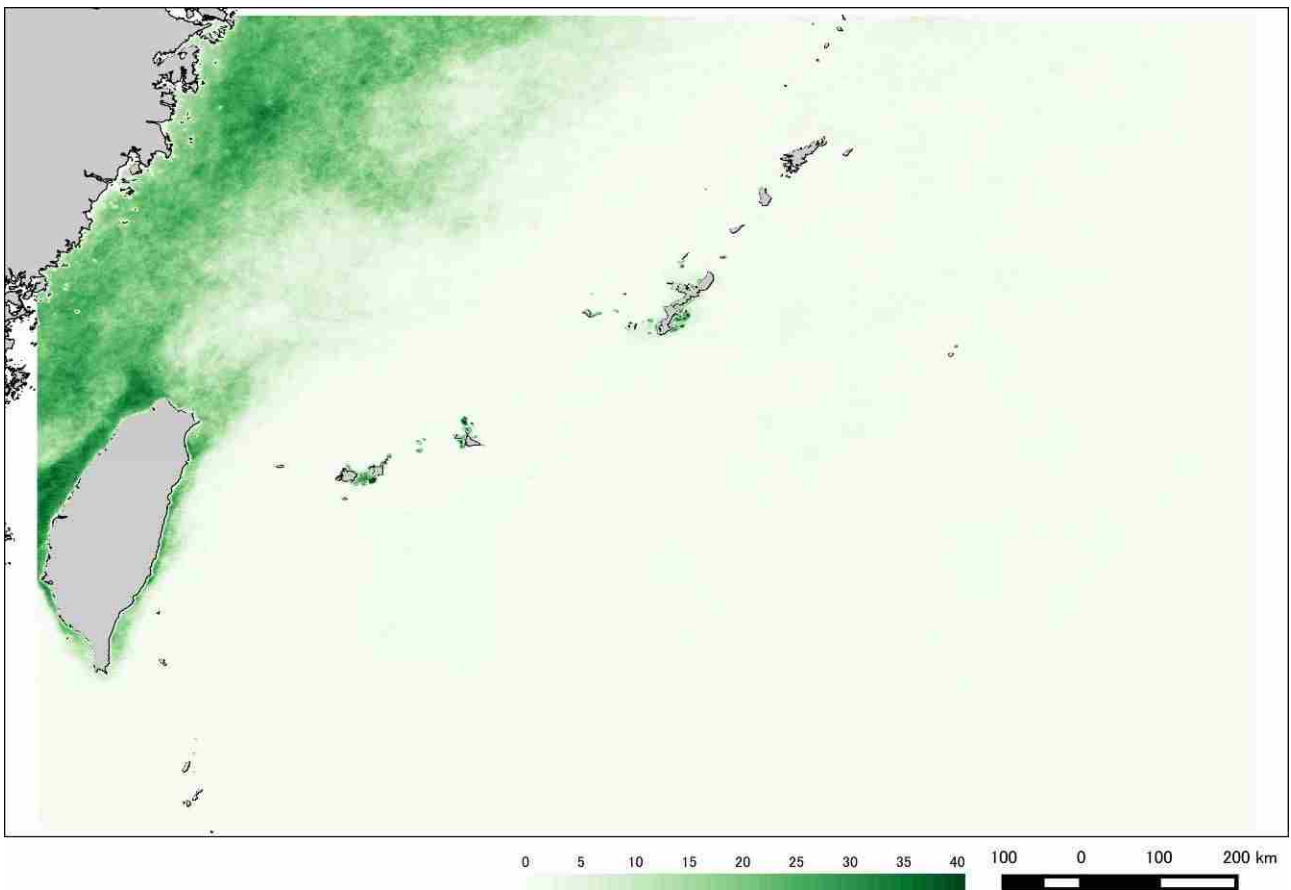


図3-3-15. MODIS データ 2014 年 6 月から 8 月における  
クロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) /  
東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

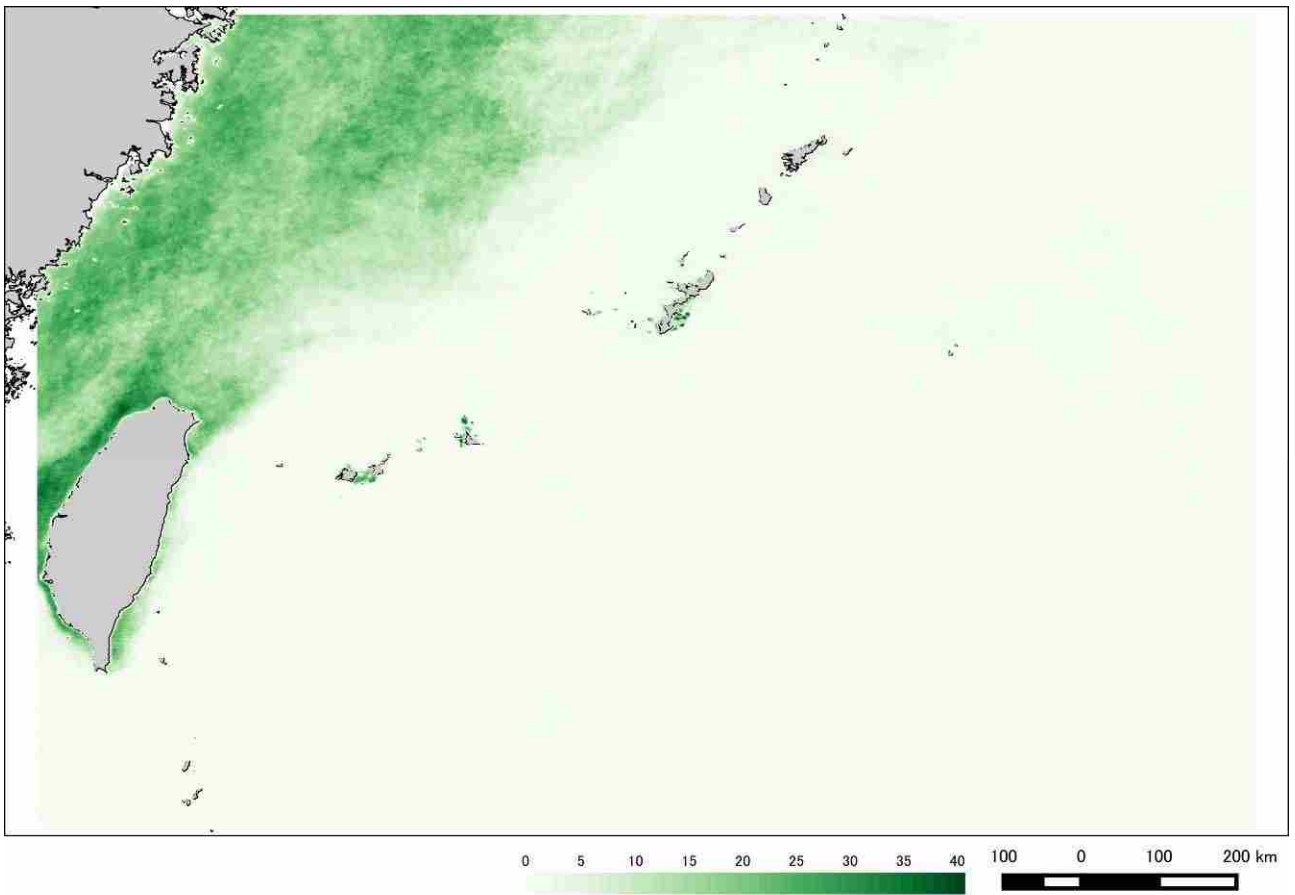


図3-3-16. MODIS データ 2015 年 6 月から 8 月における  
クロロフィル a 濃度  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上の出現頻度.

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) /  
東海大学 (TSIC/TRIC) 提供

## 3-4. 考察

### 3-4-1. 水質モニタリング結果との比較

TERRA と AQUA の衛星観測データと平成 25 年度水質モニタリング結果との比較では、AQUA の衛星観測データと水質モニタリング結果にわずかなら相関があったが、平成 26 年度の水質モニタリング結果を追加した比較では、どちらもほとんど相関がなかった。沖縄島西海岸、特に沿岸域においては水質分析値と衛星観測データの間には差があると考えられる。

衛星観測データは水質分析値との差が大きいものの、短時間で広範囲の状況を把握するには非常に優れている。衛星観測データを用いたクロロフィル a 濃度解析は、現時点では広い範囲での相対的な傾向を把握するために用いることが妥当と考えられる。

### 3-4-2 オニヒトデ幼生生存可能濃度頻度分布

島の周りで各クロロフィル a 濃度 ( $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上) の出現頻度が高かったのは、昨年度の結果と同様に、沿岸の非常に高い値を拾っている可能性がある。

恩納村では 2011 年からオニヒトデ駆除個体数が大きく増加しており (図 3-3-17)、2011 年に駆除された 15~25cm のオニヒトデは、野外でのオニヒトデの成長データから 2009 年に着底した個体が多いと考えられる。2009 年の沖縄島周辺のクロロフィル a 濃度 ( $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上) の出現頻度は、高い出現頻度が広範囲に分布しており、離れた場所からのオニヒトデ幼生加入のポテンシャルが高かったと考えられる。出現頻度の程度の差はあるが、2009 年と同様な傾向は 2011 年まで続いているため、オニヒトデ大量発生との関連がありそうに思えるが、2012 年以降は高い出現頻度の分布は大陸や台湾周辺に偏っているため、2014 年以降のオニヒトデ駆除個体数と整合しない。また、稚ヒトデ調査では 2013 年に、恩納村周辺で多くの稚ヒトデが確認されているが、2013 年のクロロフィル a 濃度 ( $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上) の出現頻度は、沖縄島周辺では高くはない。外洋でのクロロフィル a 濃度 ( $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上) の高い出現頻度は、外洋でのオニヒトデ幼生の生存率を高くすると考えられる。2009 年に恩納村周辺に加入したオニヒトデ (2011 年に駆除されたオニヒトデ) はクロロフィル a 濃度 ( $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上) の分布状況から、遠い場所からの加入を否定出来ない。一方で、2012 年以降に恩納村周辺に加入したオニヒトデはクロロフィル a 濃度 ( $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上) の分布状況から、外洋を経ることなく周辺の海域から加入した可能性が高いと思われる。

恩納村周辺海域のように外洋のクロロフィル a 濃度 ( $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  以上) の出現頻度が低いにもかかわらず、オニヒトデの大量発生が起こっている場合は、沿岸のクロロフィル a 濃度が重要だと考えられる。

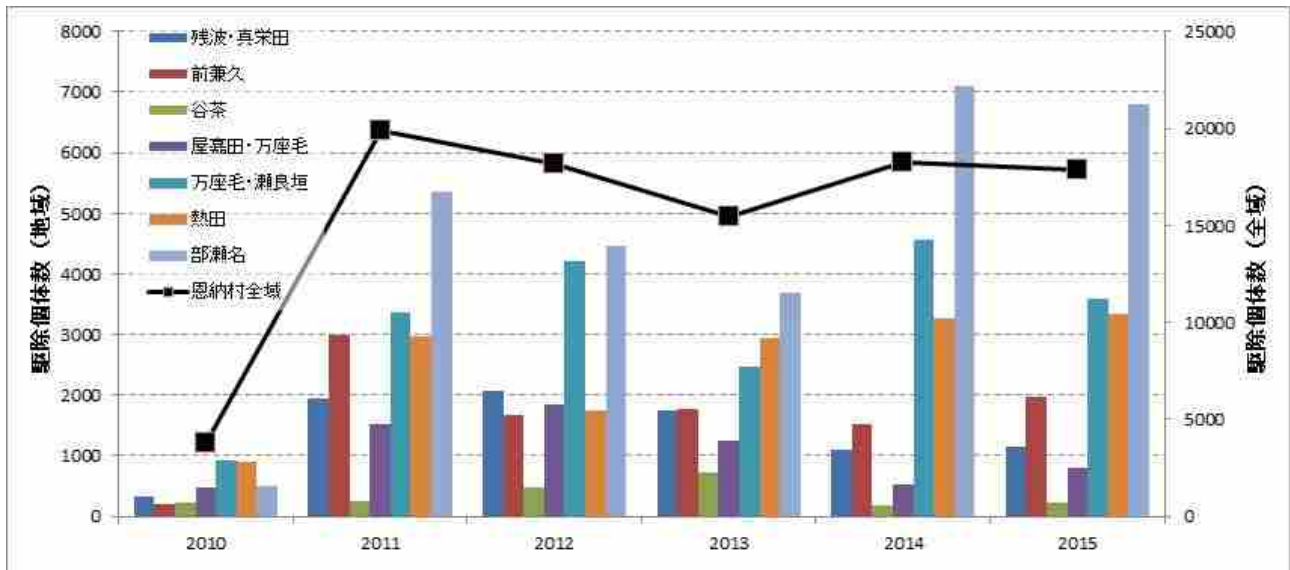


図3-3-17. 恩納村の駆除個体数(2010年から2015年).

<参考文献>

Grass GIS <<http://grass.osgeo.org/>>

Houk P, Bograd S, Woesik RV (2007) The transition zone chlorophyll front can trigger *Acanthaster planci* outbreaks in the Pacific Ocean: historical confirmation. *Journal of Oceanography*. 63: 149-154.

Houk P, Raubani J (2010) *Acanthaster planci* outbreaks in Vanuatu coincide with ocean productivity, furthering trends throughout the Pacific ocean. *Journal of Oceanography*. 66: 435-438.

JASMES MODIS データ日本領域, 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) / 東海大学 (TSIC/TRIC)  
<[http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/ADEOS/mod\\_nrt/](http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/ADEOS/mod_nrt/)>

QGIS <<http://www.qgis.org/ja/site/>>