# 4. 藻場・アマモ場分布調査

## 4.1 調査目的

平成 25 年度に作成された重要自然マップでは「藻場・アマモ場」が海域における重要な自然 としてあげられており、東日本大震災ではアマモ場を中心に津波や地盤沈下の影響を受けている。 しかし、その実態については、モニタリングサイト 1000 や生態系監視調査などの定点観測や一 部の内湾部などにおける分布状況調査は行われているが、面的かつ悉皆的な情報が不足している。

このため、平成26年度調査では、航空写真の目視判読をベースに効率的に藻場・アマモ場分 布図を作成する手法を検討し、最新の航空写真をもとに岩手県〜福島県北部の沿岸について、震 災後の藻場・アマモ場分布図の整備を行った。また、一部の地域について衛星画像を用いた藻場・ アマモ場分布図の作成手法を試行した。しかし、画像判読や画像分類、精度評価基準となるグラ ンドトゥルース(現地の藻場分布情報)が不足しているため、マッピングの定量的な評価ができ ないなどの課題があげられた。

一方、震災前の藻場・アマモ場の状況把握については、第6回・第7回自然環境保全基礎調査 (2002~2006年度)やモニタリングサイト1000などの一部の重要地点に限られており、第5回 自然環境保全基礎調査(1997~2001年度)以降、面的に網羅された調査が行われていない。こ のため、震災前後の藻場・アマモ場の分布などを比較することができない。

上記を踏まえ、今年度調査では現地調査による藻場・アマモ場の現地データの取得を行った上 で、藻場・アマモ場の震災前後の分布図を整備するとともに、震災前後の面積・分布を比較する ための手法を検討し、震災による藻場・アマモ場への影響を把握することを目的とした。

## 4.2 調査方法

本調査における藻場・アマモ場分布図の整備範囲を図 4.1 に示す。

本調査の対象は、青森県~千葉県の沿岸部であり、複雑な海岸線を含み、その延長は長大であ る。このため、衛星画像などを活用する必要があるが、従来手法のように、全ての藻場分布域を 目視判読により紙転写で新規に抽出し、図化することは非効率である。このことから、本調査で は、現地調査データを参考に、GIS・リモートセンシング技術による画像解析手法と熟練者によ る目視判読を組み合わせて、効率的かつ信頼性の高い分布図の作成を行った。

図 4.2 に藻場・アマモ場分布調査の全体の流れを示す。現地調査による藻場・アマモ場のグ ランドトゥルース(位置や藻場の種類など実際の分布に関する情報)を取得した上で、衛星画像 を用いて画像解析と目視判読により藻場・アマモ場分布図を作成する手法を検討し、震災前・震 災後の藻場・アマモ場分布図の整備を行った。また、藻場・アマモ場分布図の比較のための手法 検討・精度統一化および震災地沿岸域におけるモニタリング標準化手法となる「調査マニュアル (案)」の作成を行った。



図 4.1 藻場・アマモ場分布図の整備範囲

図 4.2 調査の全体フロー

(1) 現地調査

# a. 調査海域の選定

調査海域の一覧を表 4.1 に示す。

平成26年度作成の震災前藻場分布図や衛星画像・空中写真などから、地域ごとに藻場、ア マモ場の典型的なタイプと環境を網羅することが可能であると思われる海域を中心に調査候 補海域選定し、重要自然マップにおける取扱、生態系監視調査地点の有無などの過年度を含 む関連業務との関係を考慮して調査海域を設定した。

201			重点	調	査の手法	<b>※</b> 2
ίці ш	調査海域	海域の特徴	エリア	a)船上	b)┝゙¤∽	c)浅海
厈			<b>※</b> 1	目視	ン調査	システム
	宮古湾	湾奥部を中心にアマモ場が分布する。震災後の他機関に よる現地調査が豊富で経年変化を把握しやすい。	0	0		
	山田湾	アマモ場、ガラモ場、ワカメ・コンブ場などの様々なタ イプの藻場が分布し、多様なグランドトゥルースを得る ことができる。生態系監視調査地点あり。	0	0	0	0
1	大槌湾	第5回自然環境基礎調査では、藻場などの分布を確認し ていないが、昨年度ヒアリングで鵜住居川河口南側にア マモ場が分布する情報がある。分布確認を含め選定した。	0	0		
二陸	広田湾	岩手県実施の 2012 年の現地調査ではアマモ場分布が確認されているが、昨年度の解析では未抽出であった。 また、アラメ分布の北限に位置する。	0	0	0	0
南 沿 山	気仙沼湾	アマモ場分布の情報があるが、解析では判別出来なかっ た。また、その他の岩礁性藻場も多様であり、最知浜地 先付近を対象に調査を実施した。	0	0		
厈	本吉湾	第5回自然環境基礎調査では、ガラモ場が広く分布する とされるが、現在では異なる可能性が高いため確認した。	0	0		
	志津川湾	アマモ場、アラメ場を中心に多様なデータが得られる。 震災後の面的調査が行われている他、南三陸町による調 査などに基づく震災前の情報取得も期待できる。	0	0		
	長面浦	アマモ場があるとされるが、詳細が不明である。 既往情報も少ないため、現地は調査対象とした。	0	0	0	
	鮫浦	第5回自然環境保全基礎調査では、「その他」が広範囲 にあるとされるため、確認を行った。	0	0		
	万石浦	2012年時点のアマモ場の分布状況が確認されており、震 災後の変化状況を確認する。生態系監視調査地点あり。	0	0	0	0
仙 台	松島湾 (浦戸諸島)	アマモ場主体だが、ワカメ場、ガラモ場などもあり。コ アマモの分布もある。濁り多い海域の例。調査事例も多 く経年変化に関する情報を得やすい。	0	0	0	
湾	広浦	昨年度調査におけるヒアリングによると、アマモが分布 する可能性が高いとの情報があり、確認を行った。	0	0		
岸	松川浦	アマモ場が分布し、震災後回復傾向にある。面的分布に 関し、公表された調査結果がない。他に砂泥底に分布す る小型藻類の分布も想定されるため、これらのデータを 取得した。	0	0	0	

表 4.1 調査実施海域一覧

※1 重点エリア:重要自然マップにおける重点エリア

※2 調査の手法:a)船上からの目視観察、b)ドローンによる低高度からの観察、c)浅海底観測システムによる観察

## b. 調査方法

## 1) 船上からの目視観察

船上から、直接目視または箱めがねを使って観察を行うとともに、必要に応じて垂下式 の水中カメラなどを用いて観察および写真撮影を行った(図 4.3)。

あわせて、船長や漁協などへの聞き取りを行い、参考情報として整理した。取得する情報は、水深、藻場の優占種類、被度、底質とした。



図 4.3 船上からの目視観察状況

## 2) UAV による低高度からの観察

衛星画像は解像度が 50cm 程度(パンシャープン画像)、空中写真でも 30cm 程度である ため、海象条件によっては藻場タイプの判定が困難となることが考えられた。そのため、 6 海域を選定し、ドローンによる空撮を行った(図 4.4)。



図 4.4 UAV による低高度からの観察状況

## 3) 浅海底観測システムによる観察

優占種の組成や群落構造とその変化状況を把握するため、国立環境研究所が開発したボート搭載型の水中ビデオカメラを用いた浅海底観測システム<sup>13)</sup>(図 4.5、 https://www.nies.go.jp/whatsnew/2014/20140206/20140206.html)を使用した。本システムにより、藻場・アマモ場の位置データとリンクした連続水中撮影を行い、航跡上における藻場の詳細について把握した。



図 4.5 浅海底観測システムの使用状況

### (2) 藻場・アマモ場分布図作成

## a. 分布図作成範囲と画像データ

今年度の藻場・アマモ場分布図作成範囲を図 4.6 と図 4.7 に示す。

昨年度は岩手県〜福島県北部沿岸の震災後の藻場・アマモ場分布図を作成した。今年度は 2000年代の衛星画像を使用して震災前の藻場・アマモ場分布図、ならびに昨年度業務では対 象外とした青森県および福島県南部〜千葉県沿岸の震災後の藻場・アマモ場分布図を作成し た。

平成 26 年度、27 年度業務で解析に使用した画像データの撮影年を表 4.2、今年度使用した震災前後の衛星画像データの一覧を表 4.3 および表 4.4 に示す。

衛星画像は、可能な限り同時期に撮影されたものを用いることが望ましいが、衛星画像に はハレーション(強い海面反射により画像が白くぼやけて写る現象)や雲、波浪による海面 の乱れ、海水の濁り、海岸地形の影などにより、画像解析や判読に不適なものも多く、必ず しも同時期に撮影された画像が得られるとは限らない。そのため、震災前では 2003 年~2011 年、震災後では 2011 年~2015 年の期間に撮影された衛星画像のうち、最も解析に適したも のを抽出して使用した。

また、平成26年度業務の未整備区域(既存資料や空中写真などにより、藻場・アマモ場の 分布がわずかまたは分布が無いと考えられた区域。例えば、仙台湾沿岸の砂浜海岸など)に ついては、中分解能衛星画像を用いた判読により補完し、全域の藻場・アマモ場分布図を整 備した。

	五份迁来	. 18 8/	<del>ل</del>				1	災前							震	災後		
	凹像裡魚	[/ 掫彰	<del>ቸ</del>	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	20	11	2012	2013	2014	2015	2016
H26年度 業務	空中写真													•	•			
			WorldView-2								•	•	•	•	●		•	
		高分 解能	QuickBird	•		•	•		•	•	•							
H27年度 業務	衛星画像		GeoEye-1							●	•				•			
		中分	ALOS AVNIR-2					•										
		解能	RapidEye														•	

表 4.2 使用した画像データの撮影年度

平成 26 年度整備範囲: (震災後) 岩手県~福島県北部\*一部未整備(藻場・アマモ場が無いまたはわずかな区域) 平成 27 年度整備範囲: (震災前) 岩手県~福島県北部

> (震災後) 岩手県〜福島県北部の一部(平成 26 年度業務の未整備区域の補完) 青森県、福島県南部から千葉県

	地域名	衛星画像種別	観測日	解像度
高分解能衛	星画像			
岩手県	洋野町	WorldView-2	2010年9月14日	0.5m
岩手県	洋野町	WorldView-2	2011年2月23日	0. 5m
岩手県	普代村、大槌町~釜石市	QuickBird	2008年4月22日	0.6m
岩手県	久慈市~田野畑村	WorldView-2	2010年2月7日	0. 5m
岩手県	岩泉町	Watel dView 9	2010 年 1 日 16 日	0.5m
福島県	新地町~相馬市	worldview-2	2010 平 1 月 16 日	0. om
岩手県	岩泉町~宮古市	QuickBird	2005年4月27日	0.6m
岩手県	宮古市~釜石市	GeoEye-1	2009年11月23日	0.5m
岩手県	宮古市~山田町	QuickBird	2010年5月3日	0.6m
岩手県	釜石市~大船渡市	QuickBird	2009年11月4日	0.6m
岩手県	大船渡市~陸前高田市	WorldView-2	2010年2月23日	0.5m
岩手県	大船渡市~陸前高田市	0	9000年19月10日	0.6.
宮城県	気仙沼市	QUICKBITA	2009年12月10日	0. 6m
宮城県	気仙沼市~石巻市	QuickBird	2006年11月9日	0.6m
宮城県	南三陸町~石巻市	GeoEye-1	2010年6月25日	0. 5m
福島県	南相馬市~浪江町	QuickBird	2003年12月25日	0.6m
宮城県	東松島市~七ヶ浜町	QuickBird	2008年10月19日	0.6m
中分解能衛	星画像			
宮城県	石巻市~山元町	ALOO AVAILE O		10
福島県	新地町~大熊町	ALUS AVNIK-2	2007年8月15日	IOm

表 4.3 解析に使用した衛星画像データー覧(震災前)

	地域名	衛星画像種別	観測日	解像度
高分解能衛	星画像			
青森県	八戸市	GeoEye-1	2013年1月30日	0.5m
青森県	階上町	WorldView-2	2015年2月16日	0.5m
福島県	広野町~いわき市	GeoEye-1	2013年11月14日	0.5m
福島県	いわき市	QuickBird	2011年7月10日	0.6m
福島県	いわき市	Went dView-2	2012年11日16日	0.5m
茨城県	北茨城市	worldview-2	2012 平 11 月 10 日	0. 511
茨城県	日立市、 ひたちなか市〜大洗町	WorldView-2	2013年11月12日	0.5m
千葉県	銚子市	WorldView-2	2011年7月13日	0.5m
中分解能衛	星画像			
青森県	東通村~六ヶ所村	RapidEye	2015年5月25日	5m
青森県	六ヶ所村~三沢市、			
	八戸市~階上町	-		
岩手県	洋野町~野田村	-		
宮城県	石巻市~山元町	RapidEye	2015年8月6日	5m
福島県	新地町~富岡町、			
	いわき市	-		
茨城県	北茨城市~高萩市			
青森県	三沢市~八戸市	-		
岩手県	普代村~田野畑村、	RapidEve	2015 年 8 月 5 日	5m
	宮古市~陸前高田市	-		
宮城県	気仙沼市			
岩手県	大船渡市	RapidEye	2015 年 9 月 3 日	5m
宮城県		RapidEye	2015 年 7 月 27 日	5m
茨城県	鹿嶋市~神栖市			
福島県	いわき市	RapidEye	2015年8月3日	5m
茨城県	日立市、神栖市			
茨城県	石巻帀 	KapidEye	2015 年 8 月 1 日	5m
宮城県	石巻市	RapidEye	2015 年 7 月 31 日	5m
茨城県	ひたちなか市〜鉾田市			
福島県		KapidÈye	2015年5月6日	5m
茨城県	新田市 五十五日町 古町	RapidEye	2015 年 7 月 14 日	5m
十葉県	九十九里町~一宮町			
次城県	他他们	RapidEye	2015年5月13日	5m
十葉県	銚子市~旭市	D		
十葉県	旭市~山武市	KapidEye	2015 年 10 月 18 日	5m

- 玖 + + 肝川に区川しに用生凹隊 / ノ 見 (辰)
-------------------------------



図 4.6 藻場・アマモ場分布図作成範囲(震災前)



図 4.7 藻場・アマモ場分布図作成範囲(震災後)

### b. 分布図作成手法の検討

昨年度は、2012年8月24日に岩手県山田湾〜船越湾を撮影したWorldView-2衛星画像(8 バンド、2m分解能)(図4.8左)を使用して藻場タイプの分類を試行した。その際、各バン ドの輝度値の他、藻場タイプの判読キーとなるテクスチャ(細かいパッチ状、粗い、滑らか など)を表す特徴量を画像から算出して用いた。その結果、テクスチャ情報よりも、バンド 1(コースタルブルー)~6(レッドエッジ)の輝度値、特にバンド1と6が有効であるとい う結論が得られた。この結果に基づき、今年度は基本的には昨年度試行した分布図作成手法 を踏襲しながら、今年度の調査で得られた現地調査データを使用して、衛星画像を用いた分 布図作成手法を検討した。

昨年度有効とされたコースタルブルーとレッドエッジのデータは、現在稼働している高解 像度衛星のうち、WorldView-2 (2009年10月以降)とWorldView-3 (2014年8月以降)でし か得られない。本調査では、震災前については岩手県〜福島県南部まで、震災後については 青森県〜千葉県まで(昨年度未整備の範囲のみ)を網羅する必要があるため、アーカイブ量 が豊富な通常の4バンド(青、緑、赤、近赤外)の観測波長帯で構成される衛星画像を使用 して整備できる手法を検討した。

今年度の検討に使用した衛星画像は、2009年11月23日に岩手県山田湾〜船越湾を撮影した GeoEye-1 画像(4バンド、0.5m分解能)(図 4.8右)と、2010年6月25日に志津川湾〜 万石浦を撮影した GeoEye-1 画像(図 4.9)である。



2012年8月24日撮影、WorldView-2画像

2009 年 11 月 23 日撮影、GeoEye-1 画像 カラー合成: R=バンド 5, G=バンド 3, B=バンド 2

図 4.8 昨年度(左)と今年度(右)の検討に使用した衛星画像(岩手県山田湾~船越湾)



カラー合成: R=バンド5, G=バンド3, B=バンド2

図 4.9 今年度の検討に使用した衛星画像(志津川湾~万石浦、2010年6月25日撮影 GeoEye-1 画像)

今年度の藻場・アマモ場分布図作成フローを図 4.10示す。



※1 ハレーションの影響が大きい場合のみ実施

※2 沿岸域から沖合 60-70 海里までをカバーする海底地形デジタルデータ(日本水路協会発行)

※3 巻末引用文献: 2),3),4),5),6),7),9),10),11),14),15),16),20),21),24),25),26),28),29),30),31)

#### 1) 幾何補正(オルソ補正)

予め幾何補正済み(DEMを使用して地形の倒れ込みを補正)の画像データを使用した。

#### 2) 画像の切り出し

使用した高解像度衛星画像は 0.5~0.6m 分解能の画像であり、1回の撮影で得られる範囲は幅 15~20km、長さ数十~百 km と広大である。そのため、1シーン当たりのデータ容量が大きく、一度に処理できるデータ容量の限界を超える場合が多い。そのため、解析環境に合わせた画像サイズ(数百 MB~数 GB)に切り出しを行った。

図 4.10 藻場・アマモ場分布図作成フロー

#### 3) 陸域・雲マスク処理

画像分類精度の低下を防ぐため、分類時の誤差要因となる陸域、雲・雲影をマスクして 分類対象から除外した。

#### 4) 海面反射補正

ハレーション(太陽光の強い反射により海面が明るく写る現象)の影響が大きい画像に ついて、以下の補正式(Kay *et al.*, 2009)により、可視域と近赤外域のバンドの相関を 利用した補正を行った。図 4.11に海面反射補正の例を示す。

 $L_{sc,i}(VIS) = L_i(VIS) - r_{ij}[L_i(NIR) - \langle L_i(NIR) \rangle].$  (1)

*L<sub>sc,i</sub> (VIS)*:海面反射補正後の可視バンド*i*の輝度値

*L<sub>i</sub>(VIS)*:海面反射補正前の可視バンド *i*の輝度値

L<sub>j</sub>(NIR):海面反射補正前の近赤外バンド jの輝度値

*r<sub>ij</sub>*:画像内の小領域の可視バンド*i*と近赤外バンド*j*の回帰係数

<L<sub>i</sub>(NIR)>: 画像内の小領域の近赤外バンド jの平均値値



補正前

補正後

## 図 4.11 海面反射補正前後の画像(岩手県野田村 2010 年 2 月 7 日撮影 WorldView-2 画像)

#### 5) 大気補正

画像データは大気中で散乱した光の影響を受けており全体的に明るくなっている。そこで、一般的によく用いられ、海域リモートセンシングで有効な Dark subtraction 法 (Ahern *et al.*, 1977)を用いて大気補正を行った。Dark subtraction 法は、画像内の暗い領域

の値をオフセット値として用いて画像全体から差し引くことにより簡便に補正を行うこ とが可能である。

#### 6) 水深補正

水中では水による光の消散の影響を受けるため、水深に対して光が指数関数的に減衰し ており、画像分類の際に大きく影響する。昨年度は、水深データ(M7000 シリーズ)と各 バンドの輝度値の関係から近似式を求めて補正する検討を行ったが、光の減衰過程を説明 するための物理的根拠に乏しい方法であった。そこで、今年度は 2009 年撮影の山田湾お よび船越湾の GeoEye-1 画像に適用して海域リモートセンシングでよく用いられている次 の2 手法について比較検討を行った。今年度検討した 2 つの方法は、Jerlov の反射理論 (Jerlov, 1976)に基づき、現地調査や海図などから得られた水深情報を用いて補正を行 う方法と、水深情報を用いず画像の値のみを使用する方法(Lyzenga, 1978; Lyzenga, 1981; Matsunaga *et al.*, 2000)である。水深情報を用いる場合の補正式を(2)、水深情 報を用いない補正式を(3)に示す。

水深情報を用いる場合の補正式

 $L_{wc,i} = L_i / exp(-2 \cdot \kappa_i \cdot z)$ (2)  $L_{wc,i} : 水深補正後のバンド i の輝度値$   $L_i : 水深補正前のバンド i の輝度値$   $\kappa_i : バンド i の水中消散係数$ z : 水深

水深情報を用いない場合の補正式

*BI<sub>ij</sub>*:水深補正後のバンド*i*と*j*の底質指標

L<sub>i</sub>:水深補正前のバンド iの輝度値

L<sub>i</sub>:水深補正前のバンド jの輝度値

*κ<sub>ij</sub>*:バンド*i*と*j*の水中消散係数比

補正式(2)を用いる場合は、水深と各バンドの輝度値の関係から水中消散係数を求める 必要がある。一方、補正式(3)を用いる場合は、任意の2バンドの輝度値の関係から水中 消散係数比を求める必要がある。2009年撮影の山田湾および船越湾のGeoEye-1画像に関 して求めた例を図4.12と図4.13に示す。それぞれの補正式を用いて水深補正を行った 結果を図4.14と図4.15に示す。補正式(2)を用いる場合、深さ数mまでの範囲では解析 可能だがそれ以上の水深では過剰補正になることがわかった。この原因として、特に水深 数mまでの浅海域に関して、用いた水深データ(M7000シリーズ)の測量点密度が衛星画 像の解像度に対して十分高くなかったことが考えられる。補正式(2)を用いる場合は水深 データの精度に注意する必要があることがわかった。以上より、本調査では補正式(3)を 採用することとした。













図 4.14 水深補正画像(水深情報を用いる方法)



図 4.15 水深補正画像(水深情報を用いない方法)

## 7) 画像領域分割(ベクター化)

オブジェクト指向分類手法により、輝度値の似たもの同士をグループ化する領域分割処 理を行い、グループ化された各領域の形状をベクター(ポリゴン)化した。領域分割処理 の例を図 4.16 に示す。



図 4.16 領域分割処理の例

- 8) 画像分類
- a) 昨年度の試行結果

昨年度の衛星画像を用いた藻場・アマモ場分布図の作成手法の試行では、平成24年度 生態系監視調査結果と空中写真判読結果に基づき、山田湾からアマモ場(図4.17)、船越 湾北岸からワカメ場、大槌湾北岸からコンブ場(図4.18)の教師データを取得し、機械 学習法と呼ばれる画像分類法により藻場タイプを分類した。その結果、教師データを取得 した場所については空中写真判読結果と整合しているものの、それ以外の場所では誤分類 となることがわかった(図4.19)。なお、教師データとは、画像分類において入力データ (画像データの輝度値など)から出力データ(藻場タイプなどのカテゴリ)を予測するた めに予め与える学習用の入出力のペア(カテゴリ毎のスペクトル特徴量)のことである。



図 4.17 昨年度の試行に使用した教師データの範囲(左上)と藻場タイプ抽出の根拠とした平成 24 年度生態系監視調査と空中写真判読結果(山田湾)



図 4.18 昨年度の試行に使用した教師データの範囲(左上)と藻場タイプ抽出の根拠とした平成 24 年度生態系監視調査と空中写真判読結果(船越湾北岸~大槌湾北岸)



図 4.19 昨年度の分類結果の例(左)と空中写真判読結果(右)

#### b) 藻場タイプの特徴量の把握

昨年度の試行結果を踏まえ、2009 年 11 月 23 日撮影の GeoEye-1 画像を使用して各藻場 タイプの特徴量を把握した。特徴量の把握は、今年度の現地調査結果を根拠に上記 7) 項 で得られたポリゴン毎に藻場タイプを判読し、水深補正後の画像の平均値(底質の明るさ) と標準偏差(底質のテクスチャを示す指標)を算出することで行った。その際、今年度の 山田湾における現地調査から、アマモの他にホンダワラやコンブ、小型紅藻類が分布する ことがわかったため、昨年度の空中写真判読結果を修正するとともに、特徴量を算出する 範囲についても見直しを行った。図 4.20~図 4.22 に各藻場タイプの特徴量の算出を行 った範囲を示す。なお、昨年度は空中写真判読結果などから、船越湾北岸からワカメ場、 大槌湾北岸からコンブ場の教師データを取得したが、岩手県水産技術センターへのヒアリ ングによれば、10 月~1 月はコンブが優占し、3 月~4 月はワカメが優占するため、衛星 画像撮影時の 11 月下旬は、コンブは分布しているがワカメは消失し、アラメなどの多年 生の海藻に入れ替わっている可能性がある点に留意する必要がある。

図 4.23 に各藻場タイプの特徴量を示す。グラフは、藻場タイプ別にポリゴン内の平均 値または標準偏差を求め、さらにヒストグラムの各階級の頻度(ポリゴン数)を求めて総 ポリゴン数で割った値を折れ線グラフで表したものである。平均値と標準偏差のいずれに ついても各藻場タイプのグラフが重なり合っており、判別が困難であることを示している。

今年度の現地調査結果を踏まえて昨年度の試行結果を検証するため、2012 年 8 月 24 日 撮影の WorldView-2 画像を用いて今年度行った方法と同様の画像処理を行い、各藻場タイ プの特徴量を算出した。なお、上述のとおり、8月はワカメ、コンブは衰退期に相当する ため、アラメなどの多年生の海藻に入れ替わっている可能性がある点に留意する必要があ る。WorldView-2 画像は合計 8 バンドあるため、理論上 28 種類の組み合わせで水深補正 画像(底質指標)を作成可能である。ただし、バンドの組合せによっては海底の状況が把 握できない画像が作成される場合もあるため、28 種類の水深補正画像のうち、視認性の 良い青と黄、青と赤、青とレッドエッジ、青と近赤外 1、青と近赤外 2、緑と黄、緑と赤 の組合せの合計7種類の画像について特徴量を算出した。図4.24~図4.26に各藻場タ イプの特徴量を算出した範囲、図 4.27~図 4.29 に特徴量の算出結果を示す。各藻場タ イプのグラフを比較した結果、アマモ、ホンダワラ、ワカメ、コンブ(ワカメ、コンブは アラメなどの多年生の海藻に入れ替わっている可能性あり)については、いずれの水深補 正画像でも判別が困難であることがわかった。ただし、小型紅藻類については、青とレッ ドエッジ、青と近赤外1、青と近赤外2の組合せから作成された水深補正画像の平均値に ついて、その他の藻場タイプとグラフが分かれているため、今後判別可能か詳細に検証す る必要がある。

以上の解析結果について、次のようにまとめられる。

 対象とした地域では、秋季/夏季、4バンド/8バンド、0.5mパンシャープン画像 /2mマルチスペクトル画像の違いに関係なく、アマモ(繁茂していない時期)、ホンダワラ、アラメなどの多年生の海藻、コンブを輝度値やテクスチャの違いに基づいて判別することは極めて困難である。

次に、昨年度の試行で藻場タイプを判別可能という結果が生じた原因を以下に考察する。 上記では、今年度の手法で水深補正を行った画像では藻場タイプを判別できないことを示 した。図 4.30 に、水深補正を行っていない画像について、各藻場タイプの特徴量(平均 値のみ)を算出した結果を示す。コースタルブルー、青、緑、黄、赤バンドは各藻場タイ プが重なり合っているが、レッドエッジ、近赤外1、近赤外2のバンドではワカメ・コン ブ(アラメなどの多年生の海藻に変化していると考えられる)の輝度値がその他の藻場よ りも高い傾向を示しており、画像分類の際にこの違いが大きく寄与したことが考えられる。 これは昨年度の特徴量の把握結果と一致する。ワカメ場として特徴量を算出した船越湾北 岸の画像を確認すると(図 4.31)、トゥルーカラー画像や水深補正画像では、この領域が 暗く表現され、何らかの海藻草類が分布していることが把握できるのに対して、レッドエ ッジバンドの画像では、光の減衰の影響により海底の分布状況が全く把握できないことが わかる。このように、レッドエッジや近赤外バンドは、青や緑バンドなどの短波長のバン ドと比較して光の急激な減衰により海底の状況が把握できないため、これらのバンドの輝 度値を使用した藻場タイプの把握は現実的ではないことがわかる。一方で、海岸線付近で 輝度値が明るくなっている箇所があり、これが岩場と対応することがわかった。このこと から、レッドエッジや近赤外バンドでは、海面付近の岩などに藻類などが付着したものを 検出していると考えられる。つまり、昨年度の分類結果は、山田湾の海底に生育する海藻 草類(アマモ・ホンダワラ・小型紅藻類)と船越湾北岸および大槌湾北岸に分布する岩場 (に付着した藻類)の違いを表しているに過ぎず、藻場タイプの違いを表しているとは言 えない。また、昨年度は、機械学習に基づいた画像分類法が用いられたが、機械学習は、 与えられた教師データから自動的に高精度に予測モデルを作成できるメリットがあるが、 教師データに対して過剰適合(汎用化できていない状態)が起こりやすい手法でもある。 そのため、教師データを用いた検証では分類精度が高い場合でも未知のデータに対しては 適合できない場合がある。特に、海域を撮影した画像は、季節による藻場の繁茂・衰退の 状況や大気状況の違いの他、ハレーションや海水の濁り、潮位の違いなど、個々の画像に よって観測条件が多様であるため、予測モデルの汎用化は極めて困難と言える。



図 4.20 今年度の各藻場タイプの特徴量を算出した範囲(山田湾、背景:2009 年 11 月 23 日 GeoEye-1 画像)



図 4.21 今年度の各藻場タイプの特徴量を算出した範囲(船越湾、背景:2009 年 11 月 23 日 GeoEye-1 画像)



図 4.22 今年度の各藻場タイプの特徴量を算出した範囲(大槌湾北岸、背景:2009 年 11 月 23 日 GeoEye-1 画像)







# (b)青と赤バンドを使用した水深補正画像





図 4.23 今年度の各藻場タイプの特徴量算出結果(使用データ: 2009 年 11 月 23 日 GeoEye-1 画像)



図 4.24 今年度の各藻場タイプの特徴量を算出した範囲(山田湾、背景: 2012 年 8 月 24 日 WorldView-2 画像)



図 4.25 今年度の各藻場タイプの特徴量を算出した範囲(船越湾、背景:2012 年 8 月 24 日 WorldView-2 画像)



図 4.26 今年度の各藻場タイプの特徴量を算出した範囲(大槌湾北岸、背景: 2012 年 8 月 24 日

WorldView-2 画像)







# (b)青と赤バンドを使用した水深補正画像



(c)青とレッドエッジバンドを使用した水深補正画像

図 4.27 今年度の各藻場タイプの特徴量算出結果(使用データ: 2012 年 8 月 24 日 WorldView-2 画像)(1/3)







# (e)青と近赤外2バンドを使用した水深補正画像





図 4.28 今年度の各藻場タイプの特徴量算出結果(使用データ: 2012 年 8 月 24 日 WorldView-2 画像)(2/3)





図 4.29 今年度の各藻場タイプの特徴量算出結果(使用データ: 2012 年 8 月 24 日 WorldView-2 画像) (3/3)



図 4.30 水深補正を行っていない画像から算出した各藻場タイプの特徴量(使用データ: 2012 年 8月24日 WorldView-2 画像)



赤線:ワカメ場の 特徴量抽出箇所

図 4.31 船越湾におけるワカメ場の特徴量抽出箇所の各画像の比較(使用データ: 2012 年 8 月 24 日 WorldView-2 画像)

#### c) 底質分類

以上の検討結果を踏まえ、本調査では藻場タイプの詳細な分類は行わず、これらを統合 した海藻草類の抽出を行うこととした。海藻草類の抽出は、センサや観測日の違いによら ず安定した分類結果が得られ、汎用性が高い教師なし分類法を用いた。図 4.32 に画像分 類の例を示す。



図 4.32 画像分類の例(砂地=Class19, 20、海藻草類=Class1~18)

### 9) 判読・修正

領域分割によって得られたポリゴンと画像分類の結果を GIS 解析処理によりオーバー レイし、各ポリゴンの属性値に分類クラスを付与した。次に、分類クラスが海藻草類であ るポリゴンのみを抽出し、水深が深い領域のポリゴンを M7000 シリーズの海底地形データ を使用して削除した。画像分類のみでは、地形の影や水深が深いために輝度値が低くなっ ている場所と海藻草類を区別することができない。そのため、GIS と画像処理により自動 的に得られたポリゴンに対し、最終的に、熟練した技術者の画像目視判読により、海藻草 類以外のポリゴンを削除するとともに、藻場タイプの判別を行った。画像目視判読では、 水深補正画像の他、水域を強調表示した大気補正画像などを用いて確認を行い、藻場タイ プの分類では大気補正画像上で、浅い水深帯で白い砂地が明瞭に見える場所に生育する場 合はアマモ類、岩や礫地に生育する場合は大型褐藻類とする事を基本としたが、現地調査 結果や既存資料<sup>2),3),4),5),6),7),9),10),11),14),15),16),20),21),24),25),26),28),29),30),31)、海底地質図(5万 分の1沿岸の海の基本図)なども参考とし、地形条件(静穏性など)を勘案して総合的に 判断した。志津川湾など震災後に海底地質が砂から礫に変化し、藻場の組成が変化してい る箇所もあるため、そのような場合は現地調査結果や既存資料に従った。</sup> 一方、平成 26 年度業務の震災後分布図についても、現地調査結果、ヒアリング結果、 既存資料、ならびに水深補正画像を参考に再判読・修正を行った。なお、平成 26 年度業 務では未整備だった区域(既存資料や空中写真などにより、藻場・アマモ場の分布がわず かまたは分布が無いと考えられた区域)については、中分解能衛星画像を用いて藻場タイ プの判読を行った。その際には、画像分解能による判読精度の違いを考慮して、現地確認 および現地ヒアリングを重点化して行った。

図 4.33、図 4.34 に 2009 年 11 月の GeoEye-1 画像を使用して得られた山田湾と宮古湾 の藻場・アマモ場分布図を示す。また、図 4.35、図 4.36 に 2010 年 6 月の GeoEye-1 画 像を使用して得られた志津川湾と万石浦の藻場・アマモ場分布図を示す。図 4.33 と図 4.34 より、異なる海域においても、藻場が抽出できていることがわかる。


図 4.33 使用した衛星画像(上、2009 年 11 月 23 日 GeoEye-1 画像)と判読・修正結果の藻場・ アマモ場分布図(下、背景:水深補正画像)(山田湾)



図 4.34 使用した衛星画像(上、2009 年 11 月 23 日 GeoEye-1 画像)と判読・修正結果の藻場・ アマモ場分布図(下、背景:水深補正画像)(宮古湾)





図 4.35 使用した衛星画像(上、2010 年 6 月 25 日 GeoEye-1 画像)と判読・修正結果の藻場・ アマモ場分布図(下、背景:水深補正画像)(志津川湾)





図 4.36 使用した衛星画像(上、2010 年 6 月 25 日 GeoEye-1 画像)と判読・修正結果の藻場・ アマモ場分布図(下、背景:水深補正画像)(万石浦)

## 4.3 現地調査結果

## (1) 宮古湾(平成 27 年 7 月 8 日実施)

a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.37、観察結果を表 4.5、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.38 に示す。

船上目視観察は、呼浜(よばわりはま)より湾奥部の17地点で行った。調査実施日の 表層水温は19.5℃、透明度は0.5~2.5mであった。

津軽石川の河口付近の広い範囲において、アマモ場(被度 10~40%)の分布が確認さ れた。湾東岸部の一部には、波浪の影になるような静穏な砂泥底が形成されており、それ らの場所では局所的なアマモ場の分布が確認された。また、湾東岸部の礫、岩礁域ではホ ンダワラ類の分布が確認された。



図 4.37 調査地点図(宮古湾)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考
1-1	-0.9	砂、礫	コンブ(+)	
1-2	-0.1	砂	なし	
1-3	-0.3	砂、礫	アマモ(30)、ホンダワラ(+)	パッチ状に分布
1-4	-0.2	砂、礫	アマモ(40)、コンブ(+)	パッチ状に分布
1-5	-0.3	砂	なし	
1-6	-1.5	砂	なし	
1-7	-0.6	砂	アマモ(30)	
1-8	-0.5	砂	アマモ(50)	
1-9	-1.0	砂	アマモ(5)	
1-10	-0.8	砂	アマモ(10)、ホンダワラ(+)	
1-11	-0.4	砂、礫	アマモ(30)、コンブ(+)、ホンダワラ(+)	
1-12	-1.1	砂、礫	コンブ(+)、アマモ(+)	
1-13	-0.8	砂	アマモ(40)、コンブ(+)	
1-14	-0.4	砂、礫	ホンダワラ(50)、スガモ(30)、コンブ(+)	岸側にガラモが多い (転石に着生)
1-15	-0.6	砂	アマモ(30)	
1-16	-0.6	転石、礫	ホンダワラ(60)、コンブ(+)	フシスジモク
1-17	-0.9	岩盤、転石	スガモ(+)、ホンダワラ(+)	

表 4.5 船上目視観察結果一覧(宮古湾)

# b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ アマモ場の範囲は、震災により大きく減少したが回復傾向にある。
- ・ 岩礁性藻場に大きな変化はみられない。
- ・ 震災前は養殖筏(カキ、ホタテ、コンブ)付近の底質が非常に悪化していたが(有機汚 るが進み硫化水素の泡が発生する程)、津波の襲来により汚泥が流出し、底質環境が改 善した。(砂質底に変化)。透明度も高くなった。



図 4.38 藻場・アマモ場の分布状況 (宮古湾)

#### (2) 山田湾(平成27年7月7日実施)

a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.39、観察結果を表 4.6、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.40 に示す。

船上目視観察は、浦の浜、大島、伝作鼻周辺の 19 地点で行った。調査実施日の表層水 温は 19.7℃、透明度は 0.5~4.0mであった。

浦の浜の砂質底域ではアマモ類(アマモ、スゲアマモ)(被度 10~70%)、砂礫底域で はホンダワラ類およびコンブ(被度 5%未満~30%)の分布が確認された。大島周辺の岩 礁域では広範囲の磯焼けがみられ、ホンダワラ類がわずかに分布する程度であった。伝作 鼻周辺の砂質底域ではアマモ類(被度 5 未満~50%)、砂礫底域ではホンダワラ類(被度 60%)が確認された。

山田湾奥部では礫上に大型のホンダワラ類が生育する様子が多く確認された。このこと から本海域は静穏性が高く、底質の攪乱が少ないことが伺えた。



図 4.39 調査地点図(山田湾)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考
2-1	-1.4	砂	アマモ(50)、コンブ(+)	
2-2	-1.3	砂	アマモ(70)	
2-3	-1.9	砂	アマモ(70)	
2-4	-3.0	砂	アマモ(10)	
2-5	-0.5	砂、礫	ホンダワラ(30)、アマモ(10)、コンブ(+)	フシスジモク
2-6	-0.9	砂、礫	アマモ(10)、コンブ(+)、ホンダワラ(+)	フシスジモク
2-7	-4.7	砂	アマモ(20)、コンブ(+)	
2-8	-4.2	砂	なし	
2-9	-2.7	岩盤、礫、砂	なし	磯焼け
2-10	-2.7	岩盤、礫	ホンダワラ(10)	磯焼け
2-11	-1.8	砂、転石、岩盤	なし	磯焼け
2-12	-1.1	砂	アマモ(20)	パッチ状に分布
2-13	-5.3	岩盤、砂	なし	磯焼け
2-14	-2.2	転石、砂	なし	磯焼け
2-15	-2.9	砂、礫	ホンダワラ(60)、アマモ(20)	
2-16	-2.8	砂	アマモ(50)	
2-17	-4.2	砂、礫	アマモ(+)、コンブ(+)	
2-18	-7.1	砂	なし	
2-19	-5.5	砂	アマモ(5)	アマモは 6m 以浅に分布

# 表 4.6 船上目視観察結果一覧(山田湾)

### b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 深い水深帯のアマモ場は回復していない。地盤沈下の影響が考えられる。
- ・ 震災の直後の 1~2 年間は海藻の生育が非常に良く、大量のワカメ、コンブの付着によりホタテやカキの養殖施設が沈下した。
- ・ 明神崎より沖側でコンブ・ワカメが多く分布する。
- ・ 浦の浜周辺のアマモは震災直後には消失していたが、1~2年前から回復している。
- ・ 大島の砂浜部は津波の襲来により大きく減少した。それらが回復する傾向はみられない。



図 4.40 藻場・アマモ場の分布状況(山田湾)

# c. ドローン調査

ドローンによる低高度からの藻場・アマモ場の撮影結果を図 4.41 に示す。 ドローンによる撮影は、浦の浜の周辺で行った。低空からの撮影では、アマモ類の分布 範囲が明瞭に観察され、水面を漂うアマモ類の状況も把握することができた。



図 4.41 ドローンによる藻場・アマモ場の撮影結果(山田湾)

#### d. 浅海底観測システム

浅海底観測システムによる水中における藻場・アマモ場の観測結果を図 4.42~図 4.43 に示す。

浅海底観測システムによる観察は、浦の浜周辺および大島・小島周辺で実施した。 浦の浜では、西岸から浦中央部付近で観察を行い、航跡上ではアマモ類(被度10~70%)、 コンブ類(被度10~60%)、ホンダワラ類(被度10~50%)の分布が確認された。



図 4.42 浅海底観測システムによる藻場確認状況(浦の浜付近)



大島・小島では、小島の周囲と大島の南側にかけて観察を行い、航跡上ではアマモ類(被度 10~70%)、コンブ類(被度 10~20%)、ホンダワラ類(被度 10~20%)が観察された。

図 4.43 浅海底観測システムによる藻場確認状況 (大島・小島付近)

### (3) 大槌湾(平成27年7月6日実施)

a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.44、観察結果を表 4.7、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.45 に示す。

船上目視観察は、平磯崎から根浜海岸付近までの 16 地点で行った。調査実施日の表層 水温は 18.3℃、透明度は 1.0~3.0mであった。

平磯崎周辺の岩盤、転石域ではワカメ(被度 30%)、コンブ類(被度 30%)、ホンダワ ラ類(被度 20%)およびスガモ(被度 5%未満)の分布が確認された。箱崎漁港の南東側 の砂質底域や箱崎フィッシャリーナ港内ではアマモ(被度 50~60%)の分布が確認された。 根浜海岸付近には堤防が破損してコンクリート片が散在しており、そこにはコンブ類(被 度 10%)が着生していた。



図 4.44 調査地点図(大槌湾)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考
3-1	-7.3	岩盤、巨礫	なし	ウニが多い(磯焼け)
3-2	-2.8	岩盤、転石	ワカメ(30)、コンブ(30)、ホンダワラ(20)、 スガモ(+)	
3-3	-2.1	岩盤、転石	コンブ (30)	岩盤・転石の上部にのみ繁茂
3-4	-10.2	砂、礫	なし	
3-5	-3.7	岩盤、転石	なし	ウニが多い(磯焼け)
3-6	-2.2	転石	コンブ (30)、スガモ(+)	岩盤・転石の上部にのみ繁茂
3-7	-7.0	砂、礫	なし	
3-8	-3.2	転石、礫	なし	近傍の消波ブロックにコンブが 生育
3-9	-1.8	砂	アマモ(50)	震災後の消失から回復
3-10	-2.8	岩盤	なし	水深 2m 以浅にワカメ繁茂
3-11	-3.2	礫、岩盤	なし	ウニが多い(磯焼け)
3-12	-1.9	砂、礫	コンブ(10)、スガモ(+)	
3-13	-1.2	砂	アマモ(60)	
3-14	-1.4	砂	なし	震災で砂浜部の多くが消失
3-15	-1.4	砂、ブロック	コンブ(10)	堤防破損片にコンブが生育
3-16	-2.5	砂、ブロック	コンブ(10)	堤防破損片にコンブが生育

# 表 4.7 船上目視観察結果一覧(大槌湾)

### b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 震災後にムラサキイガイの増加がみられた。
- ・ 5~6m以深は藻場の分布が非常に少なく、磯焼け状態となっている。
- ・ 震災後にほとんどのアマモ場は衰退・消失したが、湾南側では回復傾向にある。一方、
   湾奥部(鵜住居川河口部)では砂泥部が大きく失われたため、アマモ場の回復はわずか
   である。
- 湾奥部付近では津波により崩壊・移動した海岸施設のコンクリート上にコンブ類、ホン ダワラ類が着生し、岩礁性の藻場を形成している。
- ・ 震災後2年までは、コンブ類、ワカメの分布は少なかったが、その後増加した。
- 海面養殖施設は、湾奥から湾口部にかけて、概ねカキ→ホヤ→ホタテ→ワカメの順に設置されている。



図 4.45 藻場・アマモ場の分布状況 (大槌湾)

#### (4) 広田湾(平成 27 年 7 月 13 日実施)

a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.46、観察結果を表 4.8、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.47 に示す。

船上目視観察は、米ヶ崎西側の沼田地先から両替地先付近までの 15 地点で行った。調 査実施日の表層水温は 21.5℃、透明度は 0.5~2.5mであった。

米ヶ崎の西側の礫、転石、岩礁域ではアラメ(被度5未満~20%)、ワカメ(被度20%)、 ホンダワラ類(被度30%)およびスガモ(被度5未満~30%)の分布が確認された。ま た、砂質底域ではアマモの分布(被度30~40%)が確認された。米ヶ崎の東側の岩盤、 礫、転石域にホンダワラ類(被度30~40%)およびアラメ(20%)の分布が、砂質底域 ではアマモ(被度10~100%)の分布が確認された。



図 4.46 調査地点図(広田湾)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考
4-1	-1.2	礫、転石	なし	ウニが多い(磯焼け)
4-2	-1.0	礫、砂	アラメ(20)、スガモ(30)	アワビ放流実施地点
4-3	-2.4	砂	アマモ(40)	
4-4	-1.5	礫、岩盤、砂	ワカメ(50)、スガモ(30)、アラメ(+)	
4-5	-1.4	礫、岩盤	ワカメ(20)、スガモ(+)	
4-6	-2.1	砂	アマモ(30)	震災前は被度 100%
4-7	-1.0	転石、岩盤	アラメ(20)、ワカメ(20)、ホンダワラ(30)	アワビ放流実施地点
4-8	-1.8	岩盤	ホンダワラ(30)、アラメ(20)	
4-9	-1.9	礫、転石	ホンダワラ(80)	
4-10	-1.3	砂	アマモ(10)	
4-11	-0.7	砂、礫	アマモ(30)	
4-12	-2.0	砂	アマモ(80)	震災後に拡大
4-13	-2.0	砂	アマモ(90)	震災後に拡大
4-14	-2.0	砂	アマモ(100)	震災後に拡大
4-15	-1.5	砂	アマモ(100)	震災後に拡大

表 4.8 船上目視観察結果一覧(広田湾)

# b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 震災で消失・衰退していたアマモ場が回復している。特に湾奥部(米ヶ崎の東側)では、 広域のアマモ場が分布し、震災前を超える規模になっている。
- ・ 震災の 1~2 年後に大型褐藻類の分布が増える傾向がみられた。津波の襲来により、ウ ニ類、ガンガラ類の分布が大幅に減少しており、食害圧の低下が要因と考えられる。
- ・ 震災前の湾奥部では、ジュズモ類が多く分布していたが、震災後は消失した。海岸構造物の崩壊、地盤沈下などの影響により、流動環境が変化したことが要因と考えられる。 (水質が良くなったとの意見もある)
- ・ 震災後にムラサキイガイの増加がみられた。
- ・ 地点 1~4、7 において、アワビ種苗 35 万個体を放流している。
- 海域に新しくブロックを設置すると、2、3年はワカメ、コンブ類が多く着生するが、
   その後は減少する。
- ・ 震災前の地点 4-6 では、被度 100%のアマモ類が分布していた。鳥羽水族館のジュゴン の餌料として出荷していた。
- 広田湾は栄養塩の変動が大きく、そのため大型褐藻類の変動も大きい。(県水産試験場 職員からの情報)



図 4.47 藻場・アマモ場の分布状況 (広田湾)

# c. ドローン調査

ドローンによる低高度からの藻場・アマモ場の撮影結果を図 4.48 に示す。 ドローンによる撮影は、米ヶ崎の周辺で実施した。低空からの撮影では、アマモ類、ホ ンダワラ類などが明瞭に観察され、高被度で水面を漂うホンダワラ類の藻体が観察された。



# 図 4.48 ドローンによる藻場・アマモ場の撮影結果(広田湾)

#### d. 浅海底観測システム

浅海底観測システムによる水中における藻場・アマモ場の観測結果を図 4.49~図 4.50 に示す。

浅海底観測システムによる観察は、米ヶ崎周辺およびその両替地先で実施した。米ヶ崎 周辺では、アマモ類(被度10~100%)、ホンダワラ類(被度30%)の分布が確認された。 また、海水の濁りにより海底を確認できない区域もみられた。



図 4.49 浅海底観測システムによる藻場確認状況(米ヶ崎周辺)

両替地先では、海岸線に沿って南東方向に観察を行い、航跡上ではアマモ類(被度 40 ~100%)、アラメ(被度 20%)、ホンダワラ類(被度 30%)の分布が観察された。特に海岸線の 50m沖では広範囲に被度 100%のアマモ類の分布が確認された。



図 4.50 浅海底観測システムによる藻場確認状況(両替地先)

#### (5) 気仙沼湾(平成 27 年 6 月 29 日実施)

a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.51、観察結果を表 4.9、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.52 に示す。

船上目視観察は、岩月台ノ沢地先から波路上漁港付近までの14地点で行った。調査実施日の表層水温は17.1℃、透明度は0.5~1.0mであった。

砂質底域の広い範囲にアマモ(被度 10~40%)が分布していた。調査区域内における 水深別のアマモの平均被度は、D.L.-2.7mで10%、D.L.-1.5mで20~40%、D.L.-1.3mで 20%であった。また、砂礫域にはコンブ類(被度5 未満~50%)、ホンダワラ類(被度5 未満~20%)およびワカメ(被度5 未満~20%)の分布が確認された。



図 4.51 調査地点図 (気仙沼湾)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考
5-1	-2.2	砂、礫	アマモ(10)、ホンダワラ(10)、コンブ(20)	
5-2	-1.5	砂、礫	アマモ(40)、ホンダワラ(10)、コンブ(+)	
5-3	-2.7	砂、礫	コンブ (50)、ホンダワラ(+)	漁港航路内
5-4	-2.1	砂	アマモ(30)、ワカメ(10)、ホンダワラ(+)	
5-5	-1.6	砂、礫	コンブ (30)、ホンダワラ(5)	
5-6	-2.7	砂、礫	アマモ(10)、ホンダワラ(10)	
5-7	-1.7	砂	ホンダワラ(20)、コンブ(10)	
5-8	-1.9	砂、礫	ホンダワラ(20)、コンブ(10)	
5-9	-1.7	砂、礫	ホンダワラ(+)、コンブ(10)、ワカメ(10)	
5-10	-1 3	动。磁	アマモ(20)、ホンダワラ(20)、コンブ(5)、ワ	
5 10	1.5	心、味	カメ(+)	
5-11	-1 5	5 5	アマモ(20)、ホンダワラ(20)、コンブ(5)、ワ	油防波堤北
5-11 -1.5	U 117	カメ(10)		
5-12	-1.7	礫	ホンダワラ(20)、コンブ(+)、ワカメ(20)	沖防波堤東
5-13	-1.9	礫	ホンダワラ(20)、コンブ(10)、ワカメ(20)	
5-14	-1.4	礫	ホンダワラ(20)、コンブ(10)、ワカメ(10)	島の西 20m

# 表 4.9 船上目視観察結果一覧(気仙沼湾)

# b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 気仙沼湾では、ホンダワラ類、コンブ類の分布が多い。アマモは湾の南側に分布する。
- ・ 養殖施設は湾奥からカキ、ホタテ、ワカメの順に設置されている。
- ・ 津波の第一波は岩井崎の西側から丘を越えて襲来し、高校校舎の3階まで到達した。その後、湾内からも津波が来た。
- ・ 震災後、地盤が 70cm 沈下した。湾内の防潮堤を 4m から 7m に嵩上げするため、海側を 埋め立て建設中である。
- オイルフェンスで土砂の拡散を防いでいる。5-4周辺ではウミタナゴ、イワシが採れる。
   5-2南側の磯ではアワビ、ウニが採れる。





#### (6) 本吉湾(平成 27 年 7 月 31 日実施)

a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.53、観察結果を表 4.10、垂下式の水中カメラ又は船上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.54 に示す。

船上目視観察は、赤崎海岸の北側から蔵内海岸付近までの 12 地点で行った。調査実施 日の表層水温は 23.8℃、透明度は 0.5m未満~2.0mであった。

津谷川河口の北側では陸域からの流入に由来すると考えられる濁りがみられた。岩盤、 転石域にはアラメ(被度 10~20%)、ワカメ(被度 5%未満)、ホンダワラ類(被度 10~ 30%)およびスガモ(被度 30%)の分布が確認された。河口から南側では、主に岩盤域 にアラメ(被度 10~50%)、コンブ類(被度 30%)、ワカメ(被度 10~30%)、ホンダワ ラ類(被度 10~50%)およびスガモ(被度 5 未満~20%)の分布が確認された。水深が D.L.-2.4m以深の地点では藻場は確認されなかった。



図 4.53 調査地点図(本吉湾)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考
6-1	-1.0	岩盤、転石	アラメ(20)、スガモ(30)、ホンダワラ(30)	フシスジモク
6-2	-2.4	転石、礫	なし	海岸工事の濁り
6-3	-2.3	岩盤、転石	アラメ(10)、ホンダワラ(10)	海岸工事の濁り
6-4	-2.9	岩盤	なし	海岸工事の濁り
6-5	-1.9	岩盤	ワカメ(+)	
6 6	4.9	転石、礫	-+>1	消波ブロックの浅い水深部
0-0	-4.2		なし	分にアラメ5、ワカメ10
6-7	-0.9	岩盤、転石	アラメ(20)、コンブ(30)、スガモ(5)	震災前は砂浜
6_9	_1 9	岩盤	アラメ(20)、ホンダワラ(20)、スガモ(20)、ワ	ドジナ10 フシンスジチク10
0-0	-1.0		カメ(10)	Lシイ 10、ノシスシモク 10
6-9	-1.3	岩盤	アラメ(30)、コンブ(30)、ホンダワラ(10)	ヒジキ10、フシスジモク+
6 10	_0.8	் படி	7 = 1(50) + 1/3(7 = 50) - 7 = 7 = 5(10)	ヒジキ 10、フシスジモク 10、
0-10	-0.8	石盛	777(30), 477997(20), 4777(10)	イソモク+
0 11	0.0	<b>人</b> (1) (1)	7 = J(20) + J(7) = J(10) - J(7) - J(10)	ヒジキ5、フシスジモク+、トゲ
0-11	-0.5	石盈	$\int \mathcal{J} \wedge (30) \langle \mathcal{A} \vee \mathcal{J} \vee \mathcal{J} \rangle (13) \langle \mathcal{A} \vee \mathcal{A} \vee (1) \rangle$	モク10
6 10	0.0	山島の高裕	ワカメ(30)、ホンダワラ(50)、アラメ(10)、ス	
0-12	-0.3	石盈、傑	ガモ(+)	

# 表 4.10 船上目視観察結果一覧(本吉湾)

### b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 地点 6-2、6-3 および 6-5 の岸側は、アワビ、サザエの好漁場となっている。
- · アラメは水深1m付近に多く分布する。
- ・ 震災前は、地点 6-7 の周辺は砂浜であった。
- ・ 海岸施設の復旧工事による濁りが継続して発生している。
- 小泉川では、平成 26 年に約 3 万尾のサケが遡上した。遡上のピークは 11 月下旬~12 月末である。





#### (7) 志津川湾(平成27年7月22日実施)

a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.55、観察結果を表 4.11、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.56 に示す。

船上目視観察は、細浦港から水尻川河口付近までの 21 地点で行った。現地調査実施日の表層水温は 23.9℃、透明度は 1.5~5.0mであった。

細浦港の中央付近(地点 7-1)ではアマモ(被度 5%未満)、西側の岩礁域ではホンダワ ラ類(被度 30%)の分布が確認された。清水浜港の南側の砂泥域(地点 7-3)では、タチ アマモ(被度 90%)の分布が広範囲に確認された。また、荒砥崎付近の岩礁域の D.L.-2 m以浅ではアラメ(被度 40~80%)の高被度群落の分布が確認されたが、D.L.-2m以深 では海藻類の分布はほとんどなく、磯焼けの状態であった。平磯港ではアマモ(被度 70%)、 ホンダワラ類(被度 10%)、アラメ(被度 30%)の分布が確認された。波浪の影響を強く 受けると考えられる荒島の周辺では、ワカメ(被度 70%)が優占する傾向がみられた。 八幡川の河口付近では藻場の分布はなく、水尻川の河口付近ではコンブ類(被度 30%)(流 れ藻の可能性あり)、ホンダワラ類(被度 10%)が確認された。



図 4.55 調査地点図(志津川湾)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考
7 1	1.9	-1.3 税		コアマモなし、浅場は礫場
7-1	-1.5			に変化
7-2	-0.9	礫、転石	ホンダワラ(30)	フシスジモク
7-3	-3.1	砂	アマモ(30)	タチアマモ
7-4	-0.8	砂、礫	コンブ (40)	
7-5	-2.6	砂	アマモ(90)	タチアマモ
7-6	-0.8	砂	アマモ(30)	アマモ 20、タチアマモ 10
7-7	-1.5	岩盤	ホンダワラ(+)	磯焼け
7-8	-1.7	岩盤	アラメ(40)、コンブ(+)、ホンダワラ(10)	
7-9	-1.1	岩盤、転石	アラメ(80)、ホンダワラ(10)、スガモ(10)	アワビ漁場、広範囲の藻場
7-10	-2.8	岩盤、転石	なし	水深 3m 以深は磯焼け
7-11	-0.8	岩盤	ワカメ(40)、スガモ(20)	
7-12	-1.1	砂、礫	アマモ(+)、コンブ(+)、ホンダワラ(10)	
7-13	-1.4	砂	アマモ(80)	タチ、スゲ、アマモ混生
7-14	-0.4	岩盤、転石	アラメ(30)、スガモ(20)、ホンダワラ(10)	
7-15	-1.1	砂	アマモ(70)	
7-16	1 7	-1.7 税	アマモ(50)	震災後はアマモ消失が報
7-10	-1.7			告されていたが回復
7-17	-0.8	ブロック	アラメ(80)、ワカメ(+)	藻礁ブロック上に繁茂
7-18	-0.6	岩盤	ワカメ(70)、アラメ(20)、スガモ(10)	
7-19	-2.6	礫、砂	なし	工事中、濁りあり
7-20	-2.7	砂泥	なし	工事中、濁りあり
7-21	-0.7	礫	アラメ(5)、コンブ(30)、ホンダワラ(10)	工事中、濁りあり

表 4.11 船上目視観察結果一覧(志津川湾)

### b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 地点 7-9 付近はアワビ漁場となっている。
- ・ 震災後はヒラメ、マコガレイ、ソイなどの放流は行っていない。
- 志津川湾の各地点でアマモ場の回復がみられるが、細浦港、水尻川の河口付近ではアマ モ場の回復はみられない。アマモ場の回復がない場所については、底質が砂泥から礫底 に変化したことが原因と考えられる。
- ・ 湾奥部では海岸保全施設の復旧工事の影響で濁りが継続して発生している。



図 4.56 藻場・アマモ場の分布状況(志津川湾)

#### (8) 長面浦(平成 27 年 7 月 14 日実施)

# a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.57、観察結果を表 4.12、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.58 に示す。

船上目視観察は、北側開口部を挟んで西側の大入山地先から東側の大浦地先付近までの 16 地点で行った。調査実施日の表層水温は 23.8℃、透明度は 1.0~2.0mであった。

D.L.-2.0m以浅の砂泥域の広い範囲にアマモ(被度5未満~40%)の分布が確認された。 開口部近傍の礫域にはホンダワラ類(被度5%未満)の分布が確認された。一部の砂質底 域にはカキ殻を基盤としてコンブ類が生育していた。長面浦の東側(地点 8-9~12) D.L.-1.0m以浅ではコアマモが分布していた。



図 4.57 調査地点図(長面浦)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考
0_1	0.1	-0.9 細砂	Z-T (00)	パッチ状(昨年までは分布な
0-1	-0.9		) < 1 (20)	し)
8-2	-0.7	細砂	アマモ(20)	パッチ状に分布
8-3	-1.3	砂泥	アマモ(10)、ホンダワラ(+)	
8-4	-2.0	砂泥、礫	アマモ(+)、ホンダワラ(+)	
8-5	-1.9	砂泥、礫	アマモ(+)、ホンダワラ(+)	
8-6	-0.5	砂	アマモ(20)、コンブ(+)	塩田跡地
8-7	-0.7	砂	アマモ(+)、コンブ(+)	コアマモ混成+
8-8	-1.7	砂	アマモ(+)、コンブ(+)	
8-9	-0.5	砂	アマモ(+)	コアマモ
8-10	-0.3	砂	アマモ(30)、シオグサ(+)	コアマモ、アサリ漁場
8-11	-0.3	砂	アマモ(10)、アマモ(+)、コンブ(+)	コアマモ(アマモ混生+)
8-12	-0.3	砂	アマモ(20)	コアマモ
8-13	-0.7	砂	アマモ(+)	緑藻(シオグサ)30
8-14	-0.2	砂	アマモ(40)	コアマモ(アマモ混生+)
8-15	-3.1	泥	なし	コンブ流れ藻
8-16	-0.4	細砂	コンブ(30) *カキ殻に生育	震災前にはコンブの分布なし

# 表 4.12 船上目視観察結果一覧(長面浦)

### b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 震災の2年後からアマモ類、コンブ類の分布が増加した。
- これまで長面浦ではコンブ類の分布はなかったが、今回の調査ではコンブ類の生育が確認された。これらは津波来襲により開口部の水深、地形が変化し、海水交換が良くなったことによるものと考えられる。
- 長面浦の全域でアマモ場が回復しており、浦の奥部ではコアマモの群落が確認された。
   これまで分布のなかった場所でも、アマモが生育する様子が確認されており、今後、震災前を凌ぐ規模のアマモ群落になる可能性がある。
- ・ 震災前の長面浦口部の水深は2mであったが、震災後は8mと深くなった。
- ・ 15 年前まではアマモ類が多くニシン、カレイなどが漁獲された。また、アマモが多す ぎて漁業の障害となることもあった。
- ・ 地点 8-10 付近はアサリ漁場となっている。



図 4.58 藻場・アマモ場の分布状況(長面浦)

c. ドローン調査

ドローンによる低高度からの藻場・アマモ場の撮影結果を図 4.59~図 4.60 に示す。



図 4.59 ドローンによる藻場・アマモ場の撮影結果(長面浦)



図 4.60 ドローンによる藻場・アマモ場の撮影結果(長面浦)
#### (9) 鮫浦(平成 27 年 7 月 30 日実施)

#### a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.61、観察結果を表 4.13、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.62 に示す。調査実施日の表層水温は 24.8℃、 透明度は 0.5~2.0mであった。

船上目視観察は、湾口部南岸付近から奥部の大谷川浜付近までの20地点で行った。

湾奥部の砂礫域では、広範囲にアマモ(被度5未満~40%)、コンブ類(被度5未満~ 80%)およびホンダワラ類(被度5%未満)の分布が確認された。湾南奥部の谷川浜から 湾口部付近までの岩盤、転石域には、アラメ(被度70%)、ホンダワラ類(被度5未満~ 30%)、コンブ類(被度20%)およびワカメ(被度5%未満)の分布が確認された。



図 4.61 調査地点図(鮫浦)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考	
9-1	-1.6	砂	アマモ(10)	タチアマモ	
9-2	-1.8	岩盤、転石	アラメ(70)、ホンダワラ(+)	10年前から磯焼け→震災後回 復	
9-3	-3.6	岩盤、転石	アラメ(70)	キタムラサキウニ 8-10/m²	
9-4	-2.6	岩盤	ホンダワラ(10)	フシスジモク、エゾノネジモク	
9-5	-1.2	岩盤	ワカメ(+)、ホンダワラ(+)		
9-6	-3.7	岩盤、転石	なし	石灰藻 80、キタムラサキウニ 2-3/㎡、磯焼け	
9-7	-2.6	岩盤	なし	石灰藻 80、キタムラサキウニ 7-8/m <sup>2</sup> 、磯焼け	
9-8	-1.2	岩盤	ホンダワラ(30)	トゲモク	
9-9	-1.3	岩盤	ホンダワラ(30)、コンブ(20)	トゲモク 20、フシスジモク 10、 帯状分布	
9-10	-1.3	岩盤	ホンダワラ(30)	フシスジモク、トゲモク	
9-11	-1.4	岩盤、転石	なし	汀線付近にワカメ、ホンダワラ	
9-12	-1.0	礫	コンブ(80)、アマモ(+)		
9-13	-1.1	砂、礫	ホンダワラ(+)、コンブ(+)		
9-14	-1.5	転石	コンブ(+)		
9-15	-2.4	砂、礫	アマモ(10)、コンブ(+)	タチアマモ	
9-16	-2.4	砂	アマモ(20)	タチアマモ、海水浴場跡地	
9-17	-3.2	砂	アマモ(40)	タチアマモ	
9-18	-4.2	砂	アマモ(30)	タチアマモ	
9-19	-2.6	砂	アマモ(+)、コンブ(+)	タチアマモ	
9-20	-3.5	礫	コンブ (70)、アマモ (+)		

## 表 4.13 船上目視観察結果一覧 (鮫浦)

## b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- 10 年程前から磯焼け状態が継続していたが、震災の次の年から大型褐藻は増加する傾向にある。アワビの漁獲量も増大した。
- ・ 大谷川浜には砂浜(海水浴場)が存在していたが、震災後に消失した。その周囲に分布 していたアマモ類(タチアマモ)は、震災後に減少したが、回復傾向にある。
- ・ 鮫浦ではホヤ、ホタテの養殖が行われている。
- ・ サケの定置網があり、サケ稚魚を 300 万尾放流している。



図 4.62 藻場・アマモ場の分布状況(鮫浦)

#### (10) 万石浦(平成 27 年 7 月 15 日実施)

#### a. 船上目視観察

万石浦における船上目視観察の調査位置を図 4.63、観察結果を表 4.14、垂下式の水中 カメラまたは船上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.64 に示す。

船上目視観察は、開口部から黒島付近までの 14 地点で行った。調査実施日の表層水温 は 26.9℃、透明度は 0.5~2.0mであった。

調査範囲の D. L. -0. 5m 以浅の広い範囲において、アマモ(被度 100%)が分布していた。 調査区域内における水深別のアマモの平均被度は、D. L. -3. 0m で 0%、D. L. -2. 0m で 5%未 満、D. L. -1. 5m で 30%、D. L. -1. 0m で 70%、D. L. -0. 5m で 100%であった。

高被度のアマモ場はこれまでアサリ漁場だった区域にも出現しており、漁業の障害となっている。これらのことから、地盤沈下の影響により、震災前後でアマモ場の分布域が変化した可能性が考えられる。



図 4.63 調査地点図 (万石浦)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考	
10-1	-0.6	砂	アマモ(100)	アサリ漁場	
10-2	-3.9	砂	コンブ (+)	1~10 アマモ花枝無し	
10-3	-1.4	砂	コンブ (30)、アマモ (+)、ホンダワラ (+)		
10-4	-0.6	砂	アマモ(100)	アサリ漁場	
10-5	-0.6	砂	アマモ(100)	アサリ漁場	
10-6	-0.7	砂	アマモ(40)		
10-7	-0.5	砂	アマモ(100)		
10-8	-0.6	砂	アマモ(100)		
10-9	-0.6	砂	アマモ(100)		
10-10	-0.5	砂	アマモ(100)		
10-11	-1.9	砂泥	アマモ(+)	震災前にアマモ繁茂	
10-12	-1.5	-1.5 積少	アマモ(+)	丁線付近ミル 40、アマモ花	
				枝有り	
10-13	-1.6	砂	アマモ(5)	アサリ漁場	
10-14	-0.5	砂	アマモ(100)	1~10 アマモ花枝無し	

## 表 4.14 船上目視観察結果一覧(万石浦)

## b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 震災前はアマモ類が広範囲に分布していたが、震災後の大幅に減少した。震災の2年後
   からアマモ類は徐々に回復傾向を示し、今年(2015年)の春季から急激に分布面積、
   被度が増加した。
- ・ 震災後、万石浦の地盤高が70cm沈下した。
- ・ アサリの漁場までアマモ場が拡大しており、漁業の障害となっている。
- 万石浦は種カキの全国的な産地となっているが、高密度のアマモ場が拡大したことで、 流動環境が変化(海水交換の悪化)による種カキの斃死が発生するようになった。
- ・ 震災前の万石橋付近の水深は約5mであったが、震災後には約20mと大きく変化した。
- ・ 2015年はアカモクの分布が多くみられた。



図 4.64 藻場・アマモ場の分布状況 (万石浦)

## c. ドローン調査

ドローンによる低高度からの藻場・アマモ場の撮影結果を図 4.65 に示す。 ドローンによる撮影は、万石浦の南岸付近で実施した。低空からの撮影では、アマモ類 の分布範囲が明瞭に観察され、高密度に分布し水面上に干出する草体が確認された。



図 4.65 ドローンによる藻場・アマモ場の撮影結果(万石浦)

#### d. 浅海底観測システム

浅海底観測システムによる水中における藻場・アマモ場の観測結果を図 4.66~図 4.67 に示す。

浅海底観測システムによる観察は、梨木畑地先および黒島西岸で実施した。

梨木畑では、アマモ類(被度 50~100%)、コンブ類(被度 30~60%)、ホンダワラ類(被 度 10%)の分布が確認された。



図 4.66 浅海底観測システムによる藻場確認状況(梨木畑地先付近)

黒島では、西岸付近で浅海底観測システムでの観察を行った。 アマモ類(被度 5~20%)が確認された。



図 4.67 浅海底観測システムによる藻場確認状況(黒島西岸付近)

#### (11) 松島湾(浦戸諸島)(平成27年7月21日実施)

a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.68、観察結果を表 4.15、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.69 に示す。

船上目視観察は、寒風沢島周辺の 20 地点で行った。調査実施日の表層水温は 25.5℃、 透明度は 0.5m未満~1.5mであった。

寒風沢島周辺の砂泥域では D.L.-1.0m 以浅の広範囲に、アマモ(被度 5%未満~60%) の分布が確認された。岩盤、転石域ではアラメ(被度 5 未満~80%)、ワカメ(被度 5 未 満~40%)、ホンダワラ類(被度 5 未満~20%)およびスガモ(被度 10~20%)の分布が 確認された。



図 4.68 調査地点図(松島湾)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考	
11-1	-1.5	転石·岩	アラメ(20)、スガモ(20)、ホンダワラ(10)	高さ10mの海食崖直下	
11-2	-0.9	転石·岩	ワカメ(10)、アラメ(+)	99-1 より 20m 沖側	
11-3	-1.0	砂	アマモ(10)	離岸堤の岸側	
11-4	-1.2	砂	なし	離岸堤の岸側、汀線から30m	
11-5	0.2	砂	アマモ(100)	アワビ、離岸堤の岸側	
11-6	-0.6	岩	アラメ(30)、スガモ(10)、ホンダワラ(+)	離岸堤の沖側 30m	
11-7	-2.4	岩	アラメ(80)、ワカメ(+)	須賀の鼻	
11-8	-3.7	岩	ワカメ(40)、アラメ(+)、ホンダワラ(+)	アワビ、カクラの根	
11-9	-5.0	岩	ワカメ(+)	ウニ多い、青島東、波当たり強い	
11-10	-0.1	砂	アマモ(60)、アラメ(+)		
11-11	0.2	砂	アマモ(40)、ホンダワラ(20)		
11-12	-0.2	砂	アマモ(+)	岬の先端	
11-13	-0.2	砂	アマモ(60)、アラメ(+)	三百浦	
11-14	-0.4	砂・泥	なし		
11-15	-0.2	砂	アマモ(10)	宮戸島、水中映像なし	
11-16	-0.1	砂	アマモ(30)		
11-17	-0.1	砂・泥	アマモ(10)	汀線より 30m	
11-18	-0.1	砂	アマモ(40)	港の対岸)野々島	
11-19	-1.3	岩	アラメ(30)、スガモ(10)、ホンダワラ(+)	舞島東	
11-20	-1.5	細砂·礫	なし		

## 表 4.15 船上目視観察結果一覧(松島湾)

#### b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 寒風沢島および周辺の藻場・アマモ場分布は、南側(沖側)ではアラメが主体、北側(湾 内側)ではアマモ類が主体となる。
- ・ アマモ類は震災後に大幅に減少したが、昨年(2014年)から回復傾向にある。
- ・ 地点 11-6、7 はアワビの好漁場である。



図 4.69 藻場・アマモ場の分布状況(松島湾)

#### c. ドローン調査

ドローンによる低高度からの藻場・アマモ場の撮影結果を図 4.70~図 4.71 に示す。 ドローンによる撮影は、寒風沢の前浜および寒風沢漁港で実施した。前浜の撮影時は、 非常に透明度の悪い状況であったが、低空からの撮影では、アマモ類の分布を確認するこ とができた。



## 図 4.70 ドローンによる藻場・アマモ場の撮影結果(松島湾)



寒風沢漁港の撮影時も、非常に透明度の悪い状況であったが、低空からの撮影では、ア マモ類の分布を確認することができた。

# 図 4.71 ドローンによる藻場・アマモ場の撮影結果(松島湾)

#### (12) 広浦(平成27年7月28日実施)

#### a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.72、観察結果を表 4.16、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.73 に示す。

船上目視観察は、名取川の河口北側から増田川河口付近までの5地点で行った。また、 補足点として井戸浦の3地点でも行った。調査実施日の表層水温は27.2℃、透明度は0.5 m未満~1.0mであった。

調査範囲は遠浅な砂質底域が広がるが、藻場は確認されなかった。閖上港の防波堤先端 付近のブロック(12-7)にはワカメ(被度 10%)が着生していた。また、井戸浦の内部 水面(12-3)では小型紅藻類のオゴノリが被度 40%で分布していた。



図 4.72 調査地点図(広浦)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考	
12-1	-0.8	砂	なし	1~3 ヨシ原が分布	
12-2	-0.2	砂	なし		
12-3	0.0	砂	なし	オゴノリ 40%	
12-4	-1.8	砂	なし		
12-5	0.0	砂	なし		
12-6	-0.2	砂	なし		
12-7	-0.2	ブロック	ワカメ(10)		
12-8	0.1	ブロック	なし		

## 表 4.16 船上目視観察結果一覧(広浦)

## b. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 震災前は名取川河口付近でアマモ類が群生していたが、津波の影響で砂泥域が消失し、 アマモ類の分布もみられなくなった。
- ・ 震災前は広浦の広い範囲でウナギ(延縄)、シラウオが漁獲されたが、震災後は一部の 範囲で漁獲される程度である(漁場の縮小)。津波により海砂が流入したことによる底 質の変化によるものと考えられる。
- ・ 本海域は淡水の影響が強く、藻場・アマモ場の分布はみられない。
- ・ 地点 12-7 付近はウニの好漁場であったが、最近、復旧工事で新しい消波ブロックが設置されたため、獲れなくなった。



図 4.73 藻場・アマモ場の分布状況(広浦)

#### (13) 松川浦(平成 27 年 7 月 29 日実施)

a. 船上目視観察

船上目視観察の調査位置を図 4.74、観察結果を表 4.17、垂下式の水中カメラまたは船 上から撮影した藻場・アマモ場の状況を図 4.75 に示す。

船上目視観察は、北側の松川浦漁港手前から奥部までの 26 地点で行った。調査実施日の表層水温は 27.8℃、透明度は 0.5m未満~1.5mであった。

調査範囲の D. L. -1. 4m 以浅の広い範囲にアマモ(被度 5 未満~100%)が分布していた。 松川浦漁港への連絡水路の砂礫底(13-8)にはコンブ類(被度 10%)の分布も確認された。



図 4.74 調査地点図(松川浦)

調査地点	D.L.(m)	基盤	藻場種類(被度%)	備考	
13-1	-0.2	砂	アマモ(10)	パッチ状、震災直後は消失	
13-2	-0.2	砂泥	アマモ(30)	年々増加傾向	
13-3	-0.6	砂	なし	震災前は僅かに分布。20年前は広 域に分布	
13-4	0.1	砂泥	なし	アオサ100	
13-5	-0.3	砂	なし	アオサ 50	
13-6	-1.0	砂泥	なし	小型海藻 10	
13-7	-0.1	砂	アマモ(100)	アサリ漁場、震災前の20倍の規模	
13-8	-1.2	砂、礫	コンブ(10)	小型海藻 5	
13-9	-0.9	砂	アマモ(10)	アオサ 30、オゴノリ(+)	
13-10	-0.2	砂	アマモ(100)	2年前から急激に増加	
13-11	-0.4	砂	アマモ(100)	2年前から急激に増加	
13-12	-1.4	砂	アマモ(30)		
13-13	-0.5	砂	アマモ(100)	2年前から急激に増加	
13-14	-0.3	砂	アマモ(100)	2年前から急激に増加	
13-15	0.2	砂	アマモ(20)		
13-16	0.3	砂	アマモ(30)	文島	
13-17	0.2	砂	アマモ(20)		
13-18	0.0	砂	アマモ(10)		
13-19	0.0	砂	アマモ(+)		
13-20	0.2	砂	アマモ(+)		
13-21	0.1	砂	アマモ(70)		
13-22	0.1	砂	アマモ(30)		
13-23	0.0	砂	アマモ(70)		
13-24	-0.1	砂	アマモ(70)		
13-25	-0.1	砂	アマモ(90)	2年前から急激に増加	
13-26	0.0	砂	アマモ(100)	2年前から急激に増加	

# 表 4.17 船上目視観察結果一覧(松川浦)



図 4.75 藻場・アマモ場の分布状況(松川浦)

b. ドローン調査

ドローンによる低高度からの藻場・アマモ場の撮影結果を図 4.76に示す。



図 4.76 ドローンによる藻場・アマモ場の撮影結果(松川浦)

c. 漁業者ヒアリングおよびその他の特記事項

- ・ 震災後にアマモ類の分布は大幅に減少したが、2014 年頃から回復し、2015 年に急激に 増加した。
- ・ 20年前の分布と比較すると、震災直前のアマモ類は減少傾向にあった。
- 地点13-7および13-13付近では、広い範囲に高被度のアマモ類が分布するようになり、
   その規模は震災前の10倍以上とみられる。これらの影響によりアサリ漁場で操業できない状態となっている。
- ・ 松川浦の南側(区画漁業権 4~6 号)ではアサリは獲れない、またアオノリも生育しないため漁場として利用されていない。
- ・ 2016年3月の時点ではアオノリ養殖は再開されていない。

#### 4.4 藻場・アマモ場分布図

本業務で整備した藻場・アマモ場分布図の一覧を表 4.18、索引図を図 4.77 に示す。 震災前の藻場・アマモ場分布図は、岩手県洋野町〜南相馬市南部の範囲、震災後の藻場・アマ モ場分布図は、青森県東通村〜千葉県銚子市の範囲を整備した。

なお、震災前後の藻場・アマモ場の比較は、岩手県洋野町~南相馬市南部の範囲で行った。

図郭番号	図郭範囲	震災前	震災後
青森県1	東通村物見崎付近~三沢市中部		0
青森県2	三沢市中部~階上町		0
岩手県1	洋野町~久慈市	0	0
岩手県2	野田村~宮古市北部	0	0
岩手県3	宮古市北部~山田町山田湾	0	0
岩手県4	山田町山田湾~大船渡市北部	0	0
岩手県 5	大船渡市北部~気仙沼市北部	0	0
宮城県1	気仙沼市北部~石巻市北部	0	0
宮城県2	石巻市、女川町	0	0
宮城県3	石巻市~仙台市宮城区	0	0
宮城県4	仙台市宮城区~山元町中部	0	0
福島県1	山元町中部~南相馬市南部	0	0
福島県2	南相馬市南部~広野町		0
福島県3	広野町~いわき市		0
茨城県1	北茨木市~日立市中部		0
茨城県2	日立市中部~鉾田市		0
茨城県3	鉾田市~鹿島市		0
千葉県1	神栖市~銚子市犬吠埼		0

表 4.18 藻場・アマモ場分布図一覧

網掛:震災前後の藻場・アマモ場面積の比較範囲



図 4.77 藻場・アマモ場分布図の索引図

#### (1) 震災前・震災後の藻場・アマモ場の分布状況(岩手県~福島県北部)

震災前・震災後の藻場・アマモ場の分布状況を図 4.78~図 4.97 に示す。

#### a. 三陸北沿岸(図郭番号: 岩手 1~岩手 3)

三陸北沿岸の地形は、海岸線には大きな湾入はなく海食崖が続き、陸域は海成段丘が発達している。浅海域は、三陸南沿岸のリアス海岸と比べると緩やかな海底地形で海岸線付近に平磯が分布する場所が多く、ウニ、アワビなどの磯根水産資源の漁場として利用されている。また、三陸北沿岸の基盤は岩礁域が大部分を占め、比較的地形勾配が緩やかな岩礁域となっている。

#### 1) 大型褐藻類の分布状況

大型褐藻類の分布は、久慈市南部を除く区域で震災後にやや減少する傾向がみられたが、 両時期とも汀線付近から一定の幅を有して分布している状況が確認できる。これらは海底 勾配が緩やかな岩盤地形のため、生育基盤が広く確保されている事を示唆している。

岩手県水産技術センター(2013)によると、コンブ類とワカメなどの大型褐藻類は季節 により同所的に繁茂するとされ、秋季~冬季はホソメコンブを中心とする「コンブ場」で あり、春季にコンブ類が枯死した後にワカメが繁茂する「ワカメ場」となるとの報告があ る。震災前の衛星画像の多くが冬季~春季に撮影されたものであったのに対し、震災後の 衛星画像が夏季に撮影されてものが多かった。そのため、解析に使用した衛星画像の撮影 した季節の違いによる影響も考慮する必要がある。

#### 2) アマモ類の分布状況

アマモ類の分布については砂泥底の基盤が少ないため局所的であり、震災前後において 宮古湾奥部および山田湾で分布が確認されている。しかし、それらの分布面積は、震災の 影響により減少する傾向がみられた。

宮古湾奥部には被災前よりアマモ場が分布することが知られており、岡田他(2014)お よび独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所(2012)によると、アマモ類は 被災直後の2011年は湾奥部にわずかに点生する程度であったが、2012年になると、高浜 ~金浜地先、小堀内地先にアマモ場が回復し、湾東岸の葉の木浜や太田浜(おおだのはま) 地先にも規模は小さいものの、アマモ場の回復が確認されている。震災後の分布図の状況 は、これらの報告を追認する結果となった。



図 4.78 藻場・アマモ場の震災前分布図(岩手県1)



図 4.79 藻場・アマモ場の震災後分布図(岩手県1)



図 4.80 藻場・アマモ場の震災前分布図(岩手県 2)



図 4.81 藻場・アマモ場の震災後分布図(岩手県 2)



図 4.82 藻場・アマモ場の震災前分布図(岩手県3)



図 4.83 藻場・アマモ場の震災後分布図(岩手県3)

#### b. 三陸南沿岸(図郭番号: 岩手 4~5、宮城県 1~2)

三陸南沿岸の地形は、深く湾入するリアス海岸であり、個々の湾奥陸部には扇状地性の 地形が発達し、その地先に砂浜が分布することが多い。湾側部や湾外の岩礁海岸は急深な 地形となっており、浅海域は発達しない。湾内は静穏な海域であるため、ワカメ、カキ、 ホタテ、ホヤなどの多様な養殖場として利用されている。

#### 1) 大型褐藻類の分布状況

大型褐藻類の分布は、震災後に釜石市~陸前高田市の沿岸などでやや減少する傾向がみ られた。また、大型褐藻類の分布は、急深な岩礁地形を反映し、岸沖方向の分布幅はやや 狭い傾向があった。押野他(2011)によると、宮城県沿岸における大型褐藻類はアラメ、 ワカメ、コンブ類、ホンダワラ類(アカモク、エゾノネジモクなど)が主体となっている ものと考えられる。

#### 2) アマモ類の分布状況

震災前では、主に陸前高田市の広田湾、南三陸町の志津川湾、石巻市の長面浦および万 石浦などにおいて、広範囲のアマモ類の分布が確認されたが、震災後にはそれらは減少ま たは消失する傾向がみられた。それらの傾向は、長面浦および万石浦のような内部水面域 で顕著であった。

第5回基礎調査によると、アマモ場は、岩手県沿岸では、唐丹湾、大船渡湾、広田湾、 宮城県沿岸では、志津川湾、鮫浦湾に分布するとされる。震災後に行われたアマモに関す る既存調査や有識者ヒアリング結果によると、第5回基礎調査に示された分布の他、岩手 県沿岸では、船越湾、大槌湾、越喜来湾においてアマモ類の分布が報告されている。宮城 県の志津川湾では、震災直後にはアマモ類の分布は極端に減少したが、2012年の調査(玉 置・村岡,2013)ではタチアマモの密生やアマモの生育が確認されている。今年度(2015 年)に実施した現地調査においても、志津川、万石浦、長面浦などでは、震災前の規模に 匹敵するアマモ類の分布が確認された。このことから、津波の襲来により砂泥底を生育基 盤とするアマモ類の分布は大きく減少したが、その後回復傾向にあるものと考えられる。



図 4.84 藻場・アマモ場の震災前分布図(岩手県4)



図 4.85 藻場・アマモ場の震災後分布図(岩手県4)



図 4.86 藻場・アマモ場の震災前分布図(岩手県 5)



図 4.87 藻場・アマモ場の震災後分布図(岩手県5)


図 4.88 藻場・アマモ場の震災前分布図(宮城県1)





図 4.90 藻場・アマモ場の震災前分布図 (宮城県 2)



図 4.91 藻場・アマモ場の震災後分布図 (宮城県 2)

## c. 仙台湾沿岸・福島沿岸北部(図郭番号:宮城県 3~4、福島県 1)

仙台湾沿岸は、弓状の長大な砂浜を主体に多島海景観の内湾、潟湖、大河川の河口部な どを擁する複合的な地形を持つ沿岸である。また、福島沿岸北部は、外海に面した砂浜が 大半を占めるが、広浦、鳥の海、松川浦などでは閉鎖的な内部水面となっている。

## 1) 大型褐藻類の分布状況

大型褐藻類の分布は、震災前後で大きな変化はなく、共に低い水準であった。これは、 本海域では、大型褐藻類の生育基盤となる岩礁域は少なく、浦戸諸島の外海側、七ヶ浜町 地先、相馬港周辺などに限られることによるものと考えられる。

## 2) アマモ類の分布状況

アマモ類の分布は、震災後に松島湾および松川浦などで大きく減少する傾向を示した。 第5回基礎調査によると、万石浦、松島湾内、鳥の海にアマモ場が分布したとされている。 震災後の調査では万石浦、松島湾でアマモ類の生育が報告されているが、津波によりアマ モ場は大きな影響をうけているとされ、特に松島湾のアマモ場のほとんどが消失したとの 報告がある(松島湾アマモ場再生会議, 2012)。本調査の結果は、これらの既存知見を追認 する結果となった。



図 4.92 藻場・アマモ場の震災前分布図(宮城県3)



図 4.93 藻場・アマモ場の震災後分布図(宮城県3)



図 4.94 藻場・アマモ場の震災前分布図(宮城県 4)



図 4.95 藻場・アマモ場の震災後分布図(宮城県 4)



図 4.96 藻場・アマモ場の震災前分布図(福島県1)



図 4.97 藻場・アマモ場の震災後分布図(福島県1)

#### (2) 震災後の藻場・アマモ場の分布状況(青森県、福島県南部~千葉県)

青森県、福島県南部から千葉県までの震災後の藻場・アマモ場分布状況を図 4.98~図 4.105 に示す。

#### a. 青森県(図郭番号:青森県1~2)

青森県下北半島の東通村〜八戸港までの海岸は、物見崎周辺を除き砂浜海岸となっている。 また、八戸港から岩手県境までの海岸は、三陸海岸の延長となるリアス式の岩礁海岸となっ ている。

#### 1) 大型褐藻類の分布状況

大型褐藻類は六ヶ所村北部の物見崎および八戸港から岩手県境に分布する。第4回自然 環境保全基礎調査によると、この海域に分布する藻場タイプは、コンブ類およびワカメと されている。

#### 2) アマモ類の分布状況

青森県ではアマモ類の分布はみられない。

#### b. 福島県南部~千葉県東部(図郭番号:福島県 2~3、茨城県 1~3、千葉県 1)

福島県南部の海岸は、全般的に直線状の単調な形状であり、相馬地方といわき地方では、 比較的長い砂浜が広がっている。茨城県の海岸は、福島県境から大洗町までの崖と砂浜が混 在する海岸と大洗町から千葉県境である利根川までの総延長 90km の砂浜海岸で構成されて いる。また、千葉県東部の海岸は、長大な九十九里浜の砂浜海岸および銚子半島の岩礁海岸 で構成されている。

#### 1) 大型褐藻類の分布状況

福島県南部では、大型褐藻類の分布は局所的であり、富岡町の赤坂地先、いわき市の殿 上崎、塩屋埼および合磯岬の周辺などで確認される。第5回自然環境保全基礎調査による と、これらの海域に分布する藻場タイプはアラメとなっている。

茨城県では、大型褐藻類の分布は北茨城市からひたちなか市に点在する岩礁域にみられ、 北茨城市の五浦岬、日立市の御根磯、ひたちなか市の平磯周辺で比較的まとまった規模の 藻場が分布する。第4回自然環境保全基礎調査によると、これらの海域に分布する藻場タ イプはアラメ、ガラモ場となっている。

千葉県では、大型褐藻類は銚子半島で大規模な群落を形成する。第5回自然環境保全基 礎調査によると、これらの海域に分布する藻場タイプはアラメ場となっており、カジメと アラメが混生するとされている。

### 2) アマモ類の分布状況

福島県南部~千葉県東部では、アマモ場の分布はみられない。



図 4.98 藻場・アマモ場の震災後分布図(青森県1)



図 4.99 藻場・アマモ場の震災後分布図(青森県 2)



図 4.100 藻場・アマモ場の震災後分布図(福島県 2)



図 4.101 藻場・アマモ場の震災後分布図(福島県3)



図 4.102 藻場・アマモ場の震災後分布図(茨城県1)



図 4.103 藻場・アマモ場の震災後分布図(茨城県2)



図 4.104 藻場・アマモ場の震災後分布図(茨城県3)



図 4.105 藻場・アマモ場の震災後分布図(千葉県)

(3) 震災前・震災後の藻場・アマモ場分布状況の比較

a. 閉鎖性海域における藻場・アマモ場分布状況の変化

志津川湾を例とした閉鎖性海域における震災前・震災後の藻場・アマモ場の分布状況の変 化を図 4.106 に示す。

大きな変化点として、大型褐藻類(アラメ、ワカメ、ホンダワラ類など)の分布範囲が減 少している点があげられ、これらの傾向は深い水深帯で顕著であった。これらは震災の地盤 沈下(地殻変動)による水深の増大により、光環境が変化し、分布水深の下限付近に生育し ていた大型褐藻類が衰退した事によるものと考えられる。

アマモ場についても、震災後に大きく分布域が減少する傾向がみられた。2015年の現地調 査では、アマモ場の回復傾向がみられる地点も確認されたが、湾奥部などにおいては震災前 のアマモ場が大型褐藻類藻場に変化している状況が確認された。このような場において海底 の状況を観察したところ、アマモ類の生育基盤であった海底に、津波の影響とみられる礫や 瓦礫が堆積している様子が確認された。そのため、アマモ場から大型褐藻類藻場への変化は、 生育基盤が砂泥底から礫・瓦礫に変化したことによるものと考えられた。



背景:GeoEye-1 衛星画像(平成 22 年 6 月 25 日撮影)

背景:空中写真(平成24年12月撮影)



一方、平成27年7月の現地調査では、各湾でアマモ場が自律的な回復傾向にあることが確認され、万石浦や松川浦では震災前を凌ぐ規模のアマモ場が形成されつつあった(図 4.107)。 しかし、前述したように津波の影響で砂泥底が消失、または瓦礫・礫底に変化した場所では、 アマモ場の回復はみられなかった。このように基盤が変化した場所におけるアマモ場の早期 の回復には、瓦礫の除去、覆砂工事などの基盤整備が必要と考えられる。



松川浦(平成27年7月15日撮影)

長面浦(平成27年7月14日撮影)

図 4.107 現地調査で確認されたアマモ場の回復状況(平成 27 年 7 月撮影)

## b. 震災前・震災後の藻場・アマモ場の分布面積の比較

震災前・震災後における藻場・アマモ場面積の変化状況を把握するため、市町村別、沿岸 区分・海岸区分における大型褐藻類とアマモ類の分布面積を算出した。

沿岸区分・海岸区分の範囲を図 4.108 に示す。



図 4.108 沿岸区分・海岸区分の範囲

### 1) 市町村別の分布面積の変化

## 【大型褐藻類】

震災前・震災後における大型褐藻類の市町村別の分布面積を図 4.109 に示す。

岩手県〜福島県北部沿岸における大型褐藻類の分布面積は、震災前では約4,900ha、震災後では約4,100haと減少する傾向がみられ、市町村別の詳細では、釜石市、大船渡市および陸前高田市において大きく減少する傾向がみられた。一方、久慈市および南三陸町では震災後に大型褐藻類の分布面積が増加する傾向が認められた。

三陸海岸の湾は、地形的特徴(湾入の程度、湾口水深)により6型に分類することがで きる(表 4.19)。大型褐藻類の分布が大きく減少した区域の地形的特徴は、釜石市(釜石 湾)は湾入大・水深大、大船渡市(大船渡湾)は湾入特大・水深小、南三陸町(志津川湾) では湾入大・水深中となり、各々湾入が大きいという共通点がみられた。



図 4.109 震災前後の大型褐藻類の分布状況(市町村別)

海 岸	湾型	特徴	湾名		
リアス海岸	А	湾入大	大槌湾、両石湾、釜石湾		
		水深大	唐丹湾、越喜来湾、山田湾		
	В	湾入大	綾里湾、広田湾、志津川湾		
		水深中	追波湾・雄勝湾・女川湾、鮫浦湾		
	С	湾入中	吉浜湾		
		水深大			
	D	湾入特大	宮古湾、大船渡湾、気仙沼湾		
		水深小			
	E	湾入大	船越湾		
		水深小			
▼	F	水深小	久慈湾、野田湾、小泉湾		
非リアス海岸					

表 4.19 三陸海岸の地形的特徴

出典:「日本全国沿岸海洋誌」(日本海洋学会,1987)

### 【アマモ類】

震災前・震災後のアマモ類の市町村別分布状況を図 4.110 に示す。

岩手県〜福島県北部におけるアマモ類の分布面積は、震災前では約890ha、震災後では約140haと減少する傾向がみられ、その傾向は市町村別の詳細では石巻市、女川町および 東松島市で顕著であった。

石巻市では万石浦および長面浦、女川町では万石浦、東松島市では仙台湾奥部のアマモ 場の減少が認められる。これらの地域の共通点から、津波によるアマモ類の影響は、閉鎖 性の高い内部水面や湾奥部でより大きかったことが示唆された。



図 4.110 震災前後のアマモ類の分布状況(市町村別)

### 2) 沿岸区分・海岸区分別の比較

### 【大型褐藻類】

震災前・震災後における大型褐藻類の沿岸区分別の分布面積を図 4.111、海岸区分別の 分布面積を図 4.112 に示す。

沿岸区分による大型褐藻類の分布面積は、三陸北では大きな変化は認められないが、三陸南では約3,300ha から約2,800ha、仙台湾では約400ha から約250ha に減少した。

海岸区分による大型褐藻類の分布面積は、洋野~野田湾、田老~重茂、唐桑半島東部~ 牡鹿半島東部では震災後に増加する傾向がみられ、一方、その他の区分では震災後に減少 する傾向がみられた。

## 【アマモ類】

震災前・震災後におけるアマモ類の沿岸区分別の分布面積を図 4.113、海岸区分別の分 布面積を図 4.114 に示す。

沿岸区分によるアマモ類の分布面積は、三陸南では約 250ha から約 90ha、仙台湾では 約 650ha から約 50ha と大幅に減少した。三陸北ではアマモ類の面積は共に 0.5ha 未満で あった。

海岸区分によるアマモ類の分布面積は、万石浦では 311ha から 0ha、松島湾では 222ha から 11ha、相馬(松川浦)では 99ha から 41ha と大幅に減少しており、震災前に分布し ていた 100ha 規模のアマモ類群落は、震災後にほぼ消失した。



図 4.111 震災前後の大型褐藻類の分布状況(沿岸区分別)



図 4.112 震災前後の大型褐藻類の分布状況(海岸区分別)



図 4.113 震災前後のアマモ類の分布状況(沿岸区分別)



図 4.114 震災前後のアマモ類の分布状況(海岸区分別)

#### 3) 閉鎖性海域における藻場・アマモ場の変化

当該地域の代表的な閉鎖性海域であり、生態系監視調査実施地区である宮古湾、山田湾、 大槌湾、広田湾、志津川湾、女川湾、万石浦および松島湾における震災前(2010年頃) と震災後(2012年頃)の藻場・アマモ場分布面積を図 4.115に示した。

大型褐藻類の分布面積は、山田湾、大槌湾、広田湾および松島湾では減少、志津川湾で は増加する傾向がみられ、その他の海域では震災前後で大きな差が無いなど、海域により 異なる傾向を示した。

震災による大型褐藻類への影響は、その海域の地形条件と津波の襲来方向によって異な ると考えられる。また、それらの回復過程についても食害生物、地盤沈下、浮泥堆積など の環境に依存するため、震災による影響を一律に評価・検証することは困難であると考え られる。

前述したように、大型褐藻類の分布は年度や季節によって大きく変動するため、広域の 藻場分布図作成の際には、全域を同時期に撮影した衛星画像を用いることが理想である。 しかしながら、現状の衛星画像市場では、その様な条件の衛星画像を揃えるのは困難であ り(衛星画像の主な撮影目的が陸域観測であることも要因の一つ)、更には、波浪、透明 度、太陽高度、雲量などの気象海象の状況により判読解析に使用可能な衛星画像は限定さ れる。今年度業務で使用した震災前画像のうち、宮古湾、気仙沼市~石巻市、釜石市~大 船渡市などでは、上記の条件を踏まえた使用画像の選定を行ったが、結果として、海藻の 衰退期にあたる 9 月~11 月の震災前画像を使用している。このことから、使用画像の撮 影時期の違いが、大型褐藻類の増減として表現されている可能性が考えられた。

一方、アマモ類の分布面積は、すべての海域で減少しており、その傾向は万石浦、松島 湾で顕著であった。大型褐藻類では基盤である岩礁そのものへの影響は少なく、基盤以外 の諸条件の変化が、生物相へ一時的な影響を与えたと考えられるが、アマモ類の減少は基 盤である砂泥域そのものが、津波の外力を強く受け、攪乱・縮小・消失したことによると 考えられる。



図 4.115 閉鎖性海域における大型褐藻類およびアマモ類の面積変化

### c. 藻場・アマモ場の現状と今後の推移

## 1) 大型褐藻類

ヒアリング結果によると、大型褐藻類の群落は震災後の早い時期に回復し、海域によっ ては震災前の規模を凌ぐ群落が形成されている。現地調査においても、各海域で良好な大 型褐藻類藻場が確認された。これらの要因として、津波の襲来および地盤沈下による生育 基盤の更新効果と津波によるキタムラサキウニなどの食害動物の大幅な減少が考えられ る。一方、桑原他(2006)、社団法人全国漁港漁場協会(2007)によると、震災以前の東北 沿岸の広い範囲において磯焼け現象が報告されていた(図 4.116)。今後、ウニなどの食 害動物の分布密度の回復・増加に伴う大型褐藻類への過剰な摂餌圧によって、磯焼け状態 が進行する可能性が考えられる。



出典:「磯焼け対策ガイドライン」(社団法人全国漁港漁場協会,2012) (URL: http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko\_gyozyo/g\_hourei/pdf/isoyake3.pdf)

図 4.116 震災前における宮城県沿岸の海藻被度(左図)とウニ密度(右図)

#### 2) アマモ類

現地調査の結果、震災後もアマモ場の生育基盤となる砂泥底が残った海域では、アマモ 場の回復が認められた。その中でも万石浦、松川浦などの静穏性の高い内部水面域では、 約100株/mの高密度のアマモ場が広範囲に分布する様子が確認された(図 4.117)。また、 アマモの生育状況を確認したところ、7月中旬時点で花枝は全く生育していない状況であ った。そのため、これらのアマモはクローン株による可能性が示唆された(有識者ヒアリ ングによる)。

一方、過度に密度の高いアマモ場では、本来の幼稚仔の生育場などの機能が低下することが報告されている(図 4.118)。そのため、高密度分布の状況が継続する場合には、藻 場機能の向上、生物の多様性・生産性の向上のため、人為的なアマモの間引きなどの対策 を検討する必要があると考えられる。



図 4.117 高密度で分布するアマモ場(万石浦)



出典:「漁場生産力向上対策事業 成果の概要」(独立行政法人水産総合研究センター,2007) (URL: https://www.fra.affrc.go.jp/eq/repo\_res/report21.pdf) 図 4.118 アマモ密度と魚類現存量の関係

## 4.5 藻場・アマモ場分布図の比較のための手法検討・精度統一化

## (1) 藻場分布図の凡例検討

本調査では、衛星画像判読、空中写真判読、ドローン撮影、船上目視観察、垂下式水中カ メラおよび浅海底観察システムにより藻場分類精度の検討を行った。各調査手法による藻場 の観察状況を図 4.119 に示す。



図 4.119 各調査手法によるアマモ場の確認状況例

現地調査における観察状況から各調査手法における適した藻場分類精度は、ドローン撮影 では「ホンダワラ類(ガラモ場)」、「コンブ目(海中林)」および「アマモ類」の3種類、船 上目視、垂下式水中カメラ、浅海底観測システムでは「ホンダワラ類」、「アラメ類」、「カジ メ類」、「ワカメ」、「アマモ類」の5種類の藻場分類が妥当であると考えられた。なお、種レ ベルの分類を安定して行うためには、潜水作業による目視観察が必要であると考えられた。

東北沿岸域の平均的な海象条件における、調査手法別の藻場分類精度および判読範囲を表 4.20 に整理した。

調査手法	判読(判別)レベル	藻場分類	分類精度	判読範囲 (作業効率)
衛星写真	藻場種類(大分類)	大型褐藻類(岩礁性) アマモ類(砂泥性)	【低い】	【広い】
空中写真	藻場種類(大分類)	大型褐藻類 アマモ類		
ドローン撮影	藻場種類(中分類)	ガラモ場 海中林(コンブ目藻場) アマモ類		
船上目視	藻場種類(小分類)	ガラモ場 コンブ場 アラメ場(カジメ場) ワカメ場 アマモ場		
垂下式水中カメラ 浅海底観測システム	藻場種類(小分類)	同上 *船上目視と同精度である が、水深、透明度などの制約 を受けにくい。		
潜水目視観察	種名	タマハハキモク ホソメコンブ ツノマタ	【高い】	【狭い】

# 表 4.20 調査手法別の藻場分類精度

衛星画像(空中写真)による広域の藻場を対象とした藻場分類については、これまでの検 討の結果、以下の特性・課題を考慮する必要がある事が明らかになった。

## 【藻場・アマモ場の特性】

- 東北沿岸域の主要な藻場構成種であるワカメ、コンブ、単年生ホンダワラ類などは、同所 的に分布し、季節的変動が非常に大きい(ホソメコンブは10月~1月、ワカメは2月~4 月に繁茂するため、季節によって藻場構成種が変化する)。そのため、藻場分布図でワカ メ場、コンブ場の様に藻場タイプ区分を示す事は難しい。
- > 岩礁域は複数の海藻類が混生している場合がほとんどであり、明確な藻場タイプで区分す ることは難しい。(例:本吉湾現地調査) 【画像取得・画像解析上の課題】
- 画像判読による藻場・アマモ場分布図の作成には、適した撮影条件下で、同時期に撮影した画像を用いる事が望ましい。しかし、現状の衛星画像市場では、撮影頻度が十分ではないため、このような条件の画像を広域で揃える事は非常に困難である。

\*画像取得の課題については、衛星画像市場の成長により今後改善していく可能性が高い。

「4.2(2) 藻場・アマモ場分布図作成」で検討したように、大型褐藻類の藻場タイプ区分(アラメ類、ワカメ類など)の輝度情報には明瞭な差が無い事に加え、海中の光減衰によるノイズの影響によりテクスチャの情報が利用できない。

画像解析による藻場の分類精度は、透明度、潮位、波浪などの海象条件によって大きく左 右される上、衛星画像の取得段階で最適な時期、最適な海象条件の画像を揃えるのは、現状 では非常に困難である。

今年度の衛星画像解析・検討の結果、大型褐藻類の藻場タイプ別(アラメ類、ワカメ類な ど)の輝度情報には明瞭な差が無い事に加え、海中の光減衰によるノイズの影響によりテク スチャ(点状に分布しているか、一様に分布しているかなどの違い)の情報も利用できない ことから、画像分類では詳細な藻場タイプを判別することが困難であることが明らかになっ た。

また、海藻およびリモートセンシングの有識者ヒアリング調査でも、画像から詳細な藻場の分類は困難であり、海底地質の情報を活かすなどして生育基盤の違いで藻場の分類を行う ことが現実的との指摘を受けている。

<u>以上の事から、本調査のように広域を対象とした衛星画像解析による藻場・アマモ場分布</u> 調査の藻場凡例は「大型褐藻類」および「アマモ類」の2種類とすることが妥当と考えられ た。
### (2) 既存調査の藻場凡例との対応

これまでに実施された自然環境保全基礎調査および平成 26 年度調査と今年度調査におけ る藻場分布図の凡例の対応を表 4.21 に示す。

第2回自然環境保全基礎調査(昭和54年)では空中写真、現地調査およびヒアリング調査 により藻場・アマモ場分布図が作成された。第5回自然環境保全基礎調査(平成9~13年) では、全国で現地調査を実施し、第2回自然環境保全基礎調査の藻場・アマモ場分布図の更 新を行ったが、調査海域によって調査手法が異なり、全国的な精度が統一されていない事が 課題として挙げられる。平成26年度調査では、画像解析により作成した藻場・アマモ場分布 範囲のポリゴンに第5回自然環境保全基礎調査の藻場凡例を当てはめた。

今年度調査では、前述した藻場生育特性および画像解析技術の課題を考慮し、「コンブ場」、 「アラメ場」、「ワカメ場」、「ガラモ場」を「大型褐藻類」に統合すると共に、アオサ類、テ ングサ類の小型海藻類については、①海棲生物の産卵場、生育場および水質浄化などの機能 を十分に有していない、②広範囲に安定的な群落を形成しない(光環境の競合で有利な大型 褐藻が生育すると、小型海藻は衰退する)などの理由により、集計から除外した。

第2回	第5回	平成 26 年度	平成 27 年度
自然環境保全基礎調査	自然環境保全基礎調査	植生・海域調査	植生·海域調查(今年度)
コンブ場	コンブ場	コンブ場	大型褐藻類
アラメ場	アラメ・カジメ場	アラメ場	
ワカメ場	ワカメ場	ワカメ場	
ガラモ場	ガラモ場	ガラモ場	
アマモ場	アマモ場	アマモ場	アマモ類
小型1年藻場	アオサ・アオノリ場	アオサ・アオノリ場	その他(不明含む)
(アオサ,アオノリ場)			
小型多年藻場	テングサ場	テングサ場	
その他	その他	不明	

表 4.21 既存調査の藻場凡例との対応

# 4.6 今後の課題

- 海藻・海草類は季節変動が大きく、特にワカメおよびホソメコンブなどの単年生藻類では限られた季節のみに分布する。そのため、解析に用いる衛星画像の撮影季節については、事前に対象海域の主要な藻場構成種を把握し、それらが最も繁茂する季節とすることが望ましい。
- グランドトゥルースの取得時期と衛星画像の撮影時期が異なる場合は、対象となる海藻・海 草類の季節的消長を考慮する必要がある。また、過去の衛星画像などを解析する際に、当時 の状況を確認する手段が無い場合には、藻場・アマモ場の増減に影響を与える海水温の推移、 有識者や漁業関係者へのヒアリング、海藻類の漁獲量などの情報を収集し、当時の繁茂状況 を推察する必要がある。
- 本年度の調査では、藻場・アマモ場が分布する状況(細かいパッチ状、粗い、滑らかなど) を画像上で捉えられることを想定し、パンシャープン処理によって高解像度化された画像を 選定した。しかし、海底から反射される光が極めて弱いため、センサノイズやパンシャープ ン化による色調の歪みなどの影響が生じ、必ずしも、藻場などのテクスチャを把握できる画 質とはならないことがわかった。
- アマモが繁茂し海面近くまで達している画像とそうでない画像とでは、観測波長帯によって とらえ方が大きく異なる。そのため、得られた解析結果が示す現地の状況を正しく把握する ためには、水中での植物などの光学特性に関する十分な理解が必要である。
- ・ 平成26年度業務では、限られた範囲(山田湾)を対象とした1枚の衛星画像を用いた検証により、藻場・アマモ場領域の抽出および藻場タイプの分類について、予測モデルによる自動分類の可能性が示唆された。しかし、本業務のように広域を対象として複数の時期や異なる衛星の画像を用いた場合では、撮影季節・年度、透明度、潮位、気象・海象条件の違いなど、個々の画像によって観測条件が様々であるため、現状では予測モデルの汎用化は困難であった。今後の新規衛星の打ち上げによる画像取得頻度の向上や高機能センサの開発などによる画像解析技術の進展に期待したい。
- ・ 震災による甚大な被害を受けた東北沿岸部では、海岸防護施設などの復旧工事が進められて
  いる。現地調査時では、濁水の流入により海域の透明度が著しく低下している状況が散見さ
  れた。藻場・アマモ場は、海域の生物多様性の保全はもとより、地域の主要産業の一つであ
  る水産業の基盤としても重要な存在である。そのため、必要に応じて濁水による藻場・アマ
  モ場への影響について把握する調査を実施し、更なる保全対策を検討する必要がある。

- ・ 震災前後における大型褐藻類の分布面積の変化(増減)は、湾によって異なる傾向を示した。
   震災の津波による大型褐藻類への影響は、地形条件と津波の襲来方向によって異なると考え
   られる。また、それらの回復過程についても食害生物、地盤沈下、浮泥堆積などの周辺環境
   に依存するため、震災による大型褐藻類への影響を評価するためには、今後更に長期的且つ
   広域的な視野での検証が必要と考えられる。
- アマモ類の分布面積は、全ての閉鎖性水域で減少しており、その傾向は万石浦、松島湾で顕 著であった。大型褐藻類では基盤である岩礁の影響は少なく、生物相への一時的な影響であ ると考えられるが、アマモ類では基盤(砂泥底)そのものが縮小・消失する事で、より大き な影響を受けたと考えられる。一方、現地調査(平成27年7月実施:震災後4年4か月)に おいて、アマモ類の基盤となる砂泥底が残った各海域では、アマモ場の回復傾向が認められ た。その中でも万石浦や松川浦では震災前を凌ぐ規模のアマモ場が形成されつつあった。
- 現地調査結果から、東北沿岸の藻場・アマモ場は震災後の環境に適応し、ある程度の自律的な回復傾向にあると評価できる。一方で、津波による砂泥底の消失や陸域からの濁水流入がみられる海域が散見された。そのため、今後とも回復過程をモニタリングするとともに、状況によっては人為的な保全対策を検討する必要がある。

### 4.7 調査マニュアルの作成

本業務の成果を基に、画像解析、教師データの取得などの手法を整理すると共に、問題点と課題について整理し、調査マニュアルの作成を行った。

# 4.8 有識者ヒアリング調査

藻場・アマモ場分布調査では、画像解析手法、調査海域の藻場・アマモ場の分布状況およ びその他の海域条件に関する情報についてヒアリング調査を実施した。

ヒアリング調査の実施状況一覧を表 4.22 に示す。

No.	分野	所属など	実施日時	主なヒアリング項目
1	东日西海	国立環境研究所 生物・生態系環境研究所 山野 博哉 センター長	2015/11/19 13:00-15:00	<ul> <li>・画像解析手法(サングリント補正、水深補正)</li> <li>・海藻・海草の反射スペクトルを用いた分類手法</li> </ul>
2	□ 衛星画像 2 解析 3	広島大学大学院工学研究 員 作野 裕司 准教授	2016/3/16 09:20-10:45	<ul> <li>・画像解析手法(海面反射補正、水深補正)</li> <li>・海藻・海草の分類手法</li> </ul>
3		東京大学 大気海洋研究 所 小松 輝久 准教授	2016/3/18 10:00-11:30	<ul> <li>・画像解析手法(大気補正、水深補正)</li> <li>・海藻・海草の分類手法</li> </ul>
4		水産総合研究センター 東北区水産研究所 村岡 大祐 グループ長	2015/6/17 13:30-14:30	<ul> <li>・三陸沿岸における藻場・アマモ場の分布および推移</li> <li>・現地調査手法の妥当性の確認</li> </ul>
5		株式会社海藻研究所 新井 章吾 所長	2015/6/22 16:00-17:30	<ul> <li>・三陸沿岸における藻場・アマモ場の分布および推移</li> <li>・震災による海域環境の変化など</li> </ul>
6		東京海洋大学海洋科学部 田中 次郎 教授	2015/6/23 11:00-12:00	<ul> <li>・三陸沿岸における藻場・アマモ場の分布および推移</li> <li>・現地調査手法の妥当性の確認</li> </ul>
7		北海道大学北方生物圏7ィー	2015/6/29 11:00-12:00	<ul> <li>・三陸沿岸における藻場・アマモ場の分布および推移</li> <li>・現地調査手法の妥当性の確認</li> </ul>
8		日本ミクニヤ株式会社 徳岡 誠人 氏	2015/7/23 13:00-14:30	<ul> <li>・宮城県における藻場・アマモ場の分布および推移</li> <li>・震災による海域環境の変化など</li> </ul>
9		国立環境研究所 環境計 測研究物外小能 宏之氏	2015/7/3 15:00-17:00	<ul> <li>・浅海域観測システムによる調査手法</li> <li>・同システムによる藻場解析手法</li> </ul>
10		漁業協同組合員 (気仙沼地区)	2015/6/29 14:00-15:00	・気仙沼湾における藻場・アマモ場の分布および推移 ・震災による海域環境の変化など
11		漁業協同組合員 (大槌湾地区)	2015/7/6 14:00-15:00	・大槌湾における藻場・アマモ場の分布および推移 ・震災による海域環境の変化など
12	藻場・ア	漁業協同組合員 (山田湾地区)	2015/7/7	<ul> <li>・山田湾における藻場・アマモ場の分布および推移</li> <li>・電災による海域環境の変化など</li> </ul>
13	マモ場の 分布状況	(	2015/7/8	そのにようは後後来発いるではなど ・宮古湾における藻場・アマモ場の分布および推移 ・雪いによる海城環境の変化など
14	およびそ の推移	(古日得地区) 漁業協同組合員 (古田湾地区)	2015/7/13	・広田湾における藻場・アマモ場の分布および推移
15		(広田得地区) 漁業協同組合員 (長面浦地区)	2015/7/14 14:30-15:30	・長の浦における藻場・アマモ場の分布および推移 ・電災による海域環境の変化など
16		(瓦面備地区) 漁業協同組合員 (五石浦地区)	2015/7/15	<ul> <li>・万石浦における藻場・アマモ場の分布および推移</li> <li>・雪災に上る海城環境の変化など</li> </ul>
17		(为名福起区) 漁業協同組合員 (松島迹地区)	2015/7/21	
18		(松崗信地区) 漁業協同組合員	2015/7/22	・ 意津川湾における藻場・アマモ場の分布および推移
19		(志津川湾地区) 漁業協同組合員	14:30-15:15 2015/7/28	・ 震災による 海域環境の 変化など ・ 広浦における 藻場・アマモ場の 分布および 推移
10		(広浦地区) 漁業協同組合員	15:00-16:00 2015/7/29	<ul> <li>・震災による海域環境の変化など</li> <li>・松川浦における藻場・アマモ場の分布および推移</li> </ul>
20		(松川浦地区) 漁業協同組合員	12:30-13:30 2015/7/30	・震災による海域環境の変化など ・鮫浦における藻場・アマモ場の分布および推移
21		(鮫浦地区)	13:40-14:20	・震災による海域環境の変化など
22		(本吉湾地区)	2015/1/31 15:00-16:00	・ 平百倍にわける陳物・ノマモ場の分布および推移 ・震災による海域環境の変化など
23		有識者グループヒアリング*	2016/1/8 13:30-15:30	・藻場・アマモ場調査結果の妥当性の確認 ・分布図の凡例、藻場タイプ区分の協議

表 4.22 有識者ヒアリング調査実施状況一覧

\*グループヒアリング対象者:東北大学 鈴木孝男助教、東京海洋大学 田中次郎教授、 北海道大学 仲岡雅裕教授、岩手医科大学 松政正俊教授

### 4.9 引用文献

- 1) Ahern, F. J., Googenough, D. G., Jain, S. C., Rao, V. R. and Rochon, G., 1977, Use of clear lakes as standard reflectors for atmospheric measurements. *Eleventh International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor, MI: Environmental Reserch Institute of Michigan, p. 583-594.
- 2) 吾妻他,2016, I/5. 震災が及ぼした岩礁域生態系の変化と回復過程,日本水産学会誌,82(2), 140
- 3) 独立行政法人水産総合研究センター(現 国立研究開発法人水産研究・教育機構),2015,漁 場生産力向上対策事業成果の概要,平成26年度水産庁漁場復旧対策支援事業
- 4)独立行政法人水産総合研究センター(現 国立研究開発法人 水産研究・教育機構),2012,岩
   手県宮古湾と宮城県内湾におけるアマモ場と仔稚魚の実態およびその回復状況の把握,平成 24 年度被害漁場環境調査事業第2回事業推進委員会資料
- 5) 原他, 2013, 東日本大震災が生態系に及ぼした影響, 地球環境, Vol. 18, No. 1, p. 23-33
- 6) 岩手県水産技術センター,2012,(2) 広田湾におけるアマモ場の回復状況の把握,平成24 年度 岩手県水産技術センター年報, p.112
- 7) 岩手県水産技術センター,2013,(1) 津波によるアワビ、ウニなど磯根資源への影響に関する 研究,平成25年度岩手県水産技術センター年報,p.43-52
- 8) Jerlov, N. G. 1976, Marine Optics, Elsevier Scientific Publishing Co., p. 132-137, p. 83-86.
- 9)環境省, 1979, 第2回自然環境保全基礎調查, 第2巻藻場
- 10)環境省, 1989~1992, 第4回自然環境保全基礎調查, 第2卷藻場
- 11)環境省, 1997~2001, 第5回自然環境保全基礎調查, 重要沿岸域生物調查報告書
- 12)Kay, S., Hedley, J.D., and Lavender, S., 2009, Sun Glint Correction of High and Low Spatial Resolution Images of Aquatic Scenes: a Review of Methods for Visible and Near-Infrared Wavelength, Remote Sensing, 1, p. 697-730.
- 13) 国立研究開発法人国立環境研究所,2014,ボート搭載型の水中カメラを用いた浅海底観測シス テムの開発,https://www.nies.go.jp/whatsnew/2014/20140206/20140206.html
- 14)小松他,2014,志津川湾藻場復元支援マップ,公益財団法人環日本海環境協力センター活動 報告資料,http://www.npec.or.jp/0\_info/contents/shizugawa\_map.pdf
- 15) 公益財団法人環日本海環境協力センター,2014,女川湾における津波による藻場の被害状況, http://ocean.nowpap3.go.jp/wp-content/uploads/2014/07/onagawa\_higai.pdf
- 16) 公益財団法人環日本海環境協力センター,2014,松島湾における津波による藻場の被害状況, http://ocean.nowpap3.go.jp/wp-content/uploads/2014/07/matsushima\_higai.pdf
- 17) 桑原他,2006,アンケートによる磯焼けの実態調査,日本水産工学会学術講演会講演論文集, Vol. 18, p. 103-106
- 18) Lyzenga, D. R., 1978, Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features, Applied Optics, vol. 17, no. 3, p. 379-383.
- 19)Lyzenga, D.R., 1981, Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and LANDSAT data. Int. Jour. Remote Sensing, vol. 2, p. 71-82.
- 20)二瓶,2014,特別セッション「東日本大震災による海洋環境の変化」まとめ、土木学会論文集B3(海洋開発),Vol.70,No.2

21) 松島湾アマモ場再生会議,2012,松島湾の環境の現状と再生に向けた課題,第2回松島湾の 海域環境復興を考える検討会資料,

http://www.pa.thr.mlit.go.jp/shiogama/topics/h24/pdf/kadai.pdf

- 22)Matsunaga, T., Hoyano, A. and Mizukami, Y. 2000, Monitoring of coral reefs on Ishigaki Island in Japan using multitemporal remote sensing data, Proc. SPIE 4154, p.212-222.
- 23)日本海洋学会沿岸海洋研究部会,1987,日本全国沿岸海洋誌
- 24) 岡田他, 2012, 宮古湾における底泥およびアマモのモニタリング結果, 国土技術政策総合研 究所資料, No. 752
- 25) 岡田他, 2014, 宮古湾における津波後のアマモ場の復元に関する検討, 土木学会論文集 B2(海 岸工学), Vol. 70, No. 2
- 26) 押野他, 2011, 宮城県北部岩礁域における藻場とキタムラサキウニの分布態様, 宮城水産研報, 第11 号, p. 44-64
- 27)水産庁・社団法人全国漁港漁場協会,2007, 磯焼け対策ガイドライン, p.57-60, http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko\_gyozyo/g\_hourei/pdf/isoyake1.pdf
- 28)田中他,2015, 藻場のモニタリング-東北から関東の太平洋沿岸-,月刊学術の動向,2015年8 月号, p.48-53
- 29) 玉置・村岡, 2013, 東日本大震災による藻場・干潟生態系の撹乱とその後の回復過程, 環境技術, Vol. 42(9), p. 558-563
- 30) 玉置・村岡,2016,被災地からの発信第33回「東日本大震災による藻場・干潟生態系の攪乱 とその後の回復過程」,土木学会誌,第101巻,第1号,p.54-57
- 31) 財団法人国立公園協会,2012,東日本大震災による東北地方太平洋沿岸域の重要湿地の被害 概況調査 報告書,http://japan.wetlands.org/