

砂浜域藻場造成礁の開発

研究代表者	東京海洋大学海洋科学部 教授	能登谷 正浩
共同研究者	旭化成マリンテック(株) 代表取締役社長	鷺沢 栄二郎
	(株)マック 専務取締役	今 男人
	鯨ヶ沢漁業協同組合長	小内山 実
	深浦漁業協同組合長	森 長保
	青森県の藻場環境を創える会 副委員長	富田 名重
	青森県の藻場環境を創える会 委員	脇川 勇生
	青森県の藻場環境を創える会 委員	佐藤 英克
	青森県漁港建設協会 専務理事	齋藤 彦徳
	全日本漁港建設協会 専務理事	鈴木 光雄

研究成果の要旨

1. 研究の目的と意義

本邦日本海沿岸では、ホンダワラ類やアラメ・ツルアラメ藻場がハタハタやアイナメの産卵場、メバル類稚魚の幼稚子の育成場、ウニ、アワビ、サザエの餌料、モズク、エゴノリなど有用藻類の着生場として漁業生産上重要な役割を果たしている。このため、当該海域では、漁業者から藻場の拡大が求められている。しかし、この海域は、沿岸域の大半が砂層で占められるため、投石やコンクリート製増殖礁など通常用いられる着定基質が、洗掘や埋没のため、藻場造成には直ちに適用できない。さらに、冬季には季節風が甚だしいため、藻場造成に適した浅所で安定性が保たれない。このため、当該沿岸では、これまで大規模な藻場造成が困難とされてきた。

そこで、日本海沿岸における藻場造成手法の開発を目的に、学識経験者、地元漁協や建設会社が研究会を組織し、当該海域の環境に適した構造物を検討、試験礁を設計、製作するとともに、設置後の埋没や安定性を把握する。さらに、それにホンダワラ類やツルアラメを繁殖させ、藻場形成にともなう水産資源増大効果を把握する。併せて、礁体のヤリイカ産卵量から増殖礁としての効果、魚類集集状況から魚礁としての効果をそれぞれ把握する。

以上の調査結果から、本邦日本海沿岸の砂層域に適した藻場造成手法を新たに開発し、将来の水産基盤整備事業として関係機関の事業展開に資するものである。

2. 研究の方法

- (1) 抗砂性浅海藻場礁の検討
- (2) 水産資源増大効果の検討
- (3) 日本海域浅海藻場造成指針の作成

3. 研究の成果

(1) 浅海藻場造成研究会現地研究会の開催

①第1回現地検討会

平成18年6月15日に鯨ヶ沢町西建設会館において試験礁の製作工法、設計条件、設置場所の環境条件を検討。

②第2回現地検討会

平成18年8月22日に鯨ヶ沢町鯨ヶ沢漁協において、設計図面と設置場所を確認するとともに、製作ヤードの

確保を行った。

③第3回現地検討会

平成18年11月21日に青森市建設会館2階会議室において、事前調査の検討結果から、深浦町大戸瀬漁協管内には試験礁設置適地がないことを確認し、代替となる場所を深浦町地先の他の海域に求めることとし、地元深浦町の関係機関が適地調査を行うことと決めた。

④第4回現地検討会

平成19年3月14日に深浦町漁協において、5月をめどに深浦町あずま地先に3種類の試験礁各1基ずつ設置することを決定し、地元深浦町漁協の了解を得た。また、4月までに試験礁設置場所の事前調査を実施することとした。

⑤第5回現地検討会

平成19年4月13日に深浦町漁協において、事前調査結果の報告を受け、あずま地先の底質が転石で不安定であることから、設置場所を浦町広戸地先とし、5月10日を目処に3種類の試験礁各1基ずつ設置することを決定した。地元深浦町漁協の了解を得た。また、沈設する施設の設計図および工法、部材搬入・組み立て手順を打ち合わせた。

⑥第6回現地検討会

平成19年8月21日に、青森市建設会館2階会議室において追跡調査の報告を受け、来る10月15日に八戸市で開催される海藻増養殖技術開発検討会 in 青森（宇賀神水産庁整備課長出席）において、研究成果を報告することを決定。

⑦第7回現地検討会

平成20年2月12日に深浦町漁協において、漁協役職員、深浦町役場職員に3種（各1基）の試験施設のうち1基が転倒したことを報告し、善後策を検討。

⑧第8回現地検討会

平成20年3月28日に深浦町漁協において、漁協役職員、深浦町役場職員に試験の結果を報告するとともに、6月をめどに追跡調査を実施することを報告した。あわせて、深浦町において西崎町長に試験結果を報告した。

(2) 18年度抗砂性浅海藻場礁の開発

①事前調査

平成18年7月19日に試験礁設置場所を事前調査した。概要は別添「砂浜域藻場造成試験礁」設置場所事前調査報告書（報告資料-1）のとおり。

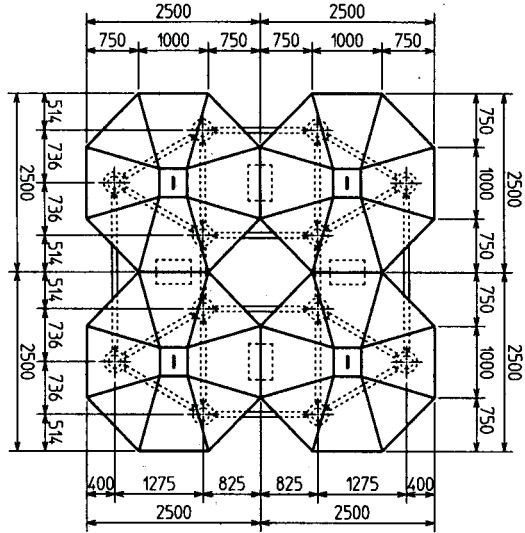
②試験礁の設計

本設計図のとおり。

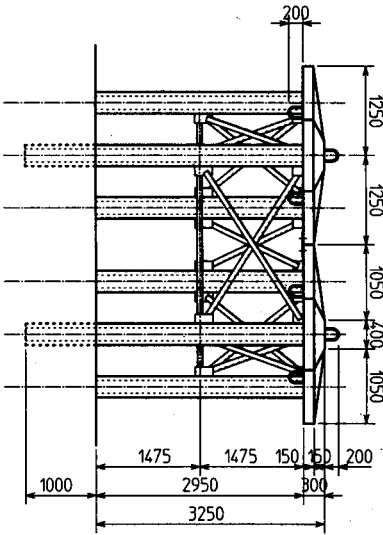
SI

浅海薬場礁 組立図

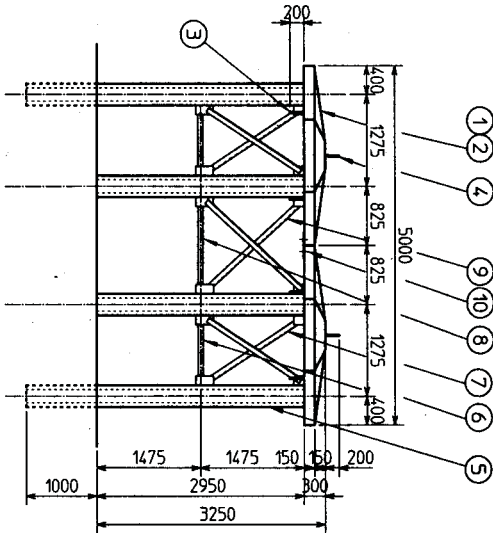
平面図



正面図



側面図

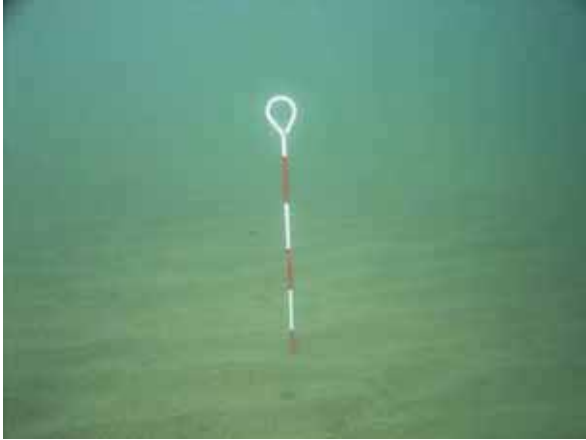


NO	名 称	寸 法	材 質	数 量	備 考
1	コンクリートパネル	2500×2500×300	304-2520	4	SS400
2	補強鉄筋	Φ6	S0295	-	SS400
3	パネル吊下げコック	Φ6×160L	SΦ235	6	
4	鋼体吊下げコック	Φ25×153L	SΦ235	4	
5	支柱	4000 Φ300×300 座	PHCパネル	2	支柱2ヶ所に鋼管材
6	パネル補強鋼材(水平)	L-75×75×9 L=112	SS400	2	
7	パネル補強鋼材(垂直)	L-75×75×9 L=706	SS400	24	
8	接続鋼材(水平)	L-75×75×9 L=290 L=449	SS400	8	
9	接続鋼材(垂直)	L-75×75×9 L=623 L=408	SS400	6	
10	パネル結合プレート	Φ300×500×12	SUS316L	4	ボルト(16ヶ)・鋼管(2ヶ)

注) 吊下げコックを用いて4点均等吊下げを厳守すること。

礁質量 16.86 t

(G1817K2) 1/1



事前調査大戸是地先 (砂層厚 55cm)



事前調査鯨ヶ沢 (砂層厚 1m以上)



製作した試験礁 (10月19日)



施設沈設風景-1 (10月19日)



施設沈設風景-2



安定性調査 (10月23日)

③試験礁の部材搬入

平成18年10月17日に鯨ヶ沢漁協に試験礁部材を搬入。

④試験礁の搬入組み立て

平成18年10月18日

⑤試験礁沈設

平成18年10月19日に鯨ヶ沢地先北緯40度47.452分，統計140度14.380分，水深5.85m，藻場造成用天盤面から海面まで2.60mに沈設。

⑥沈設設置状況調査

平成18年10月23日に設置状況を観察した。概要は別添「砂浜域藻場造成試験礁」設置状況調査報告書（調査報告-2）のとおり。

⑦転倒状況調査

平成19年3月3日に設置状況を観察した結果，礁体の転倒を認めた。概要は別添「砂浜域藻場造成試験礁」転倒状況調査報告書（調査報告-3）のとおり。

⑧転倒原因の解析と対策

転倒状況や転倒当時の波浪状況から，転倒原因を解析し，対策を検討した。概要は別添「砂浜域藻場造成試験礁」の研究開発設計報告書（設計報告-3）のとおり。

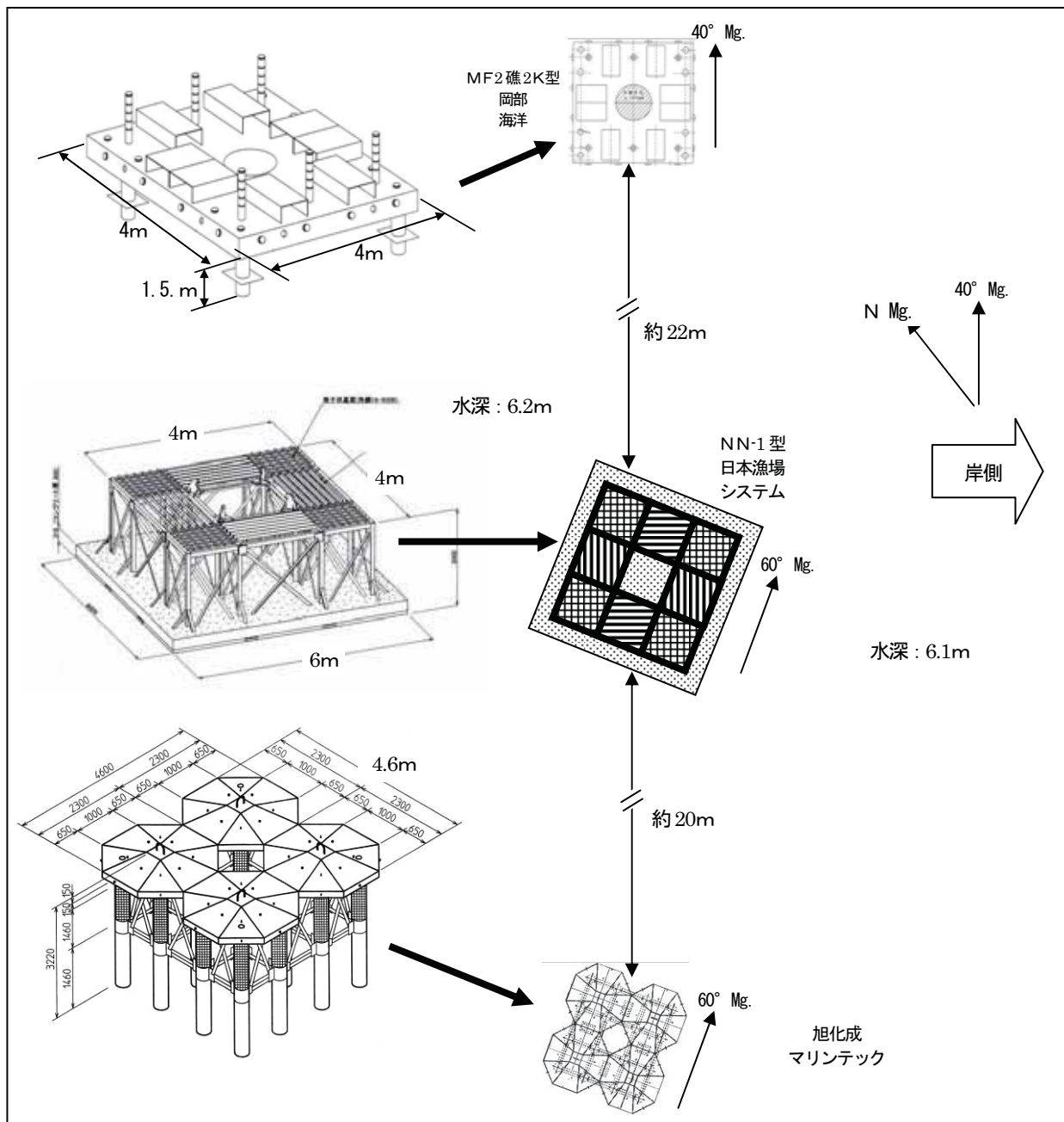
(3) 19年度抗砂性浅海藻場礁の開発

①事前調査（深浦漁業協同組合管内）

平成19年4月19日に，深浦漁業協同組合管内の深浦町地先における試験礁設置場所を事前調査した。概要は別添「砂浜域藻場造成試験礁」設置場所事前調査報告書（深浦漁業協同組合管内）（調査報告-4）のとおり。

②試験礁の設計と設置

平成19年5月30日に旭化成の改良を加えた抗砂性浅海藻場礁，NN-1型（日本漁場システム），MF2礁2K型（岡部海洋エンジニアリング）を各々約20mの間隔で直線上に設置した。各礁体の設置角度は図に示すとおりである。概要は別添「砂浜域藻場造成試験礁」設計報告書（設計報告-5）のとおり。



③試験礁の設置状況

平成19年9月24日に、改良を加えた抗砂性浅海藻場礁（旭化成マリンテック）、NN-1型（日本漁場システム）、MF2礁2K型（岡部海洋エンジニアリング）礁の設置状況を観察した。いずれの礁体とも10-25cmの洗掘が認められるが、移動や転倒はなかった。礁体には付着生物が認められた。概要は別添「砂浜域藻場造成、試験礁」設置状況調査報告書（深浦漁業協同組合管内）（調査報告-5）のとおり。

④改良を加えた抗砂性浅海藻場礁の転倒

平成20年1月末に旭化成マリンテックの改良を加えた抗砂性浅海藻場礁が転倒し、海浜に打ち上げられたことが分かった。これは、1月24日に設計波高をこえる波を受け、波の下端が礁水平部より下にきて上方向の揚圧力が働いたためと考えられた。現地調査を経て、3月4日に研究会員である株式会社佐藤組が打ち上げられた施設を撤去した。概要は別添「砂浜域藻場造成試験礁」設計報告書（深浦漁業協同組合管内）（設計報告-3）のとおり。

⑤効果調査

平成20年3月20日に、礁体の配置や洗堀状況及び付着生物等について観察するとともに水中写真撮影を行った。礁体には、転倒しなかった2基については、移動することなく設置時と同じ状態を維持した。また、礁体には、アオサ類、フシスジモク、アカモク、ジョロモク、ツルアラメ、フクロノリ、アミジグサ、モロイトグサ、ミツデソゾ、サエダ計10種の生育が認められた。概要は別添「砂浜域藻場造成試験礁」効果調査報告書（深浦漁業協同組合管内）（調査報告-6）

4. まとめ

(1) 天板面を持つ礁体の転倒理由について

日本海沿岸における砂浜域における藻場造成手法の開発を目的に、藻場礁を4種類試作し設置したが、このうち、藻場生育のための天板面を持つ礁体2基ではいずれも転倒した。本礁体は、設計外力を用いて、2003年度版「漁港漁場の施設の設計の手引き」にしたがって、構造計算、安定計算を行った。この結果、構造計算では、礁にかかる最大水平流体力は $P=52.17\text{KN}$ となり、各部材強度は満足する。安定計算では、礁の滑動安全率1.58、転倒安全率1.55であり、外力に対して安定である（詳細は、設計報告1及び3の別紙安定計算書）、その他の衝撃砕波力の検討として、砕波状態における上方からの衝撃力に対する強度検討を行い、部材強度を確保した。さらに、洗掘埋没検討：海岸工学論文集1985.vol132.pp430-434水口他「波動による小口径円柱周りの局所洗掘に関する実験的研究」計算式を用いて最大波力に対する洗掘予測を行った。その結果洗掘深は60cmとなり、大きな洗掘は生じないと予測された。さらに、揚力に対する検討として、揚力は圧力差に対し働くため、水平板は水深の中央部に位置し、大きな揚力は働かないとしていた。

しかし、平成20年1月24日に最大瞬間風速31.8m（7時59分）を記録する時化が発生し、この時に礁が移動・転倒した。この日観測された風速と波浪データは、

最大風速 : 18.1m/s 風向 : 南西 時間 : 08:30
最大瞬間風速 : 31.8m/s 風向 : 西南西 時間 : 07:59

最大波高計測結果(1月24日)

最大有義波 波高 : 7.27m 周期 : 11.4sec 時間 : 17:20
最高波 波高 : 12.72m 周期 : 11.1sec 時間 : 17:40

であった。

これを見ると、1月24日の最大有義波高は、ほぼ設計値と同レベルであったことが分かる。また、設計時に想定した最大波を超える波がきたことが分かる。

		波高計の位置	沖波	試験礁設置位置	周期
	水深	51m	—	6.2m	
実測値	1/3有義波高	6.92m	9.27m	4.86m	10.9s
	最大波	12.72m	17.80m	6.50m	11.1s
設計値	1/3有義波高	—	9.9m	4.66m	12.4s
	最大波	—	*17.82m	5.95m	12.4s

*設計値の沖波最大波は $H_{max}=1.8 \times H_{1/3}$ とした（設計指針では係数は施設の重要度によって1.6~2.0としており、通常の沿岸構造物は1.8）。

当該試験地における礁体の移動条件としては、以下の4項目が考えられる。

①潮位上昇により計算水深がアップした場合（6.6m 10.5m）

これについては、当海域において約4mもの潮位上昇は、現実的ではない。

②礁が傾き、遮影面積が増加した場合 ($0^\circ \sim 35^\circ \sim 75^\circ$)

これについては、支柱本数が16本あることを考慮すると可能性は低い。

③海底面の摩擦係数 μ が低下し、杭効果が消失してしまった場合 ($\mu 1.0 \sim 0.63$)

これについては、一度に海底面ごと移動する場合は考えられない。

④波の下端が礁水平部より下に来て上方向の揚圧力が働いた場合。

これについては、礁が150~200mも移動し、且つその場所で上下逆に転倒していることおよび平成20年1月24日の波高データから、最も可能性が高いといえる。

揚圧力は、礁体下面までの水深よりも大きな波がきたとき礁には作用する。試験礁設置位置での推定最大波は波高6.50mであるので平均水面からの水深は $6.50\text{m}/2=3.25\text{m}$ である。よって、礁体水平板上方ほどまでしか水面はこず、揚圧力は働かない。また、最大波のような不規則波および砕波帯内では波は正弦波とはならないため水面下は波高/2より小さくなるため、水面は水平板上にしかこないと推定できる。しかしながら、このような小さな差であれば、礁の傾斜や水深の誤差等十分考えられ、礁体が設置場所から150~200mも移動していることを考慮すれば、下面から揚圧力が働いたことの可能性が高いと思われる。

ちなみに、水平板下面に水面が来て揚圧力が働いた場合、上方向の等価静過重は $P_u=2 \cdot w \cdot H$ であり、上方向に大きな力が働く。

なお、設計時には

礁体下面の水深： $6.2\text{m}-2.32\text{m}=3.88\text{m}$

最大波高5.95mとして平均水面からの水深 $5.95\text{m}/2=3.0\text{m}$

として礁下面に対して水面は90cm上方に位置するので揚圧力は働かないとしていた。

(2) 浅海砂浜域での礁構造の問題点と提言

砂浜域で藻場造成を行う場合には、洗掘の問題と、藻場造成特有の所定水深に水平板を持つことによる揚圧力の考え方が重要になる。今回の事故を踏まえ、浅海砂浜域で永続性を保つ礁を検討する際の問題点としては下記の事項が考えられ、今後の基準のあり方の検討が望ましい。

① 海底面の性状悪化や洗掘による杭効果消失への対応

全体の海浜変形が考えられる中での杭効果による摩擦係数 μ についての検討

② 局所洗掘の確実性

今回、水口(1985)の局所洗掘実験式を用いて洗掘深60cmと想定しており、これは実測データの35cmとほぼ一致した。この精度を確認、検討する必要がある。

③ 最大波高 H_{\max} に対する有義波高 $H_{1/3}$ との係数の取り方

今回、設計指針に従って、通常の沿岸構造物として $H_{\max}=1.8 \times H_{1/3}$ としたが、揚圧力など最大波高が問題となる構造物については施設の重要性を考慮して係数を2.0とするべきと考えられた。

④ 設置場所の調査方法のあり方

沿岸砂浜域に構造物を配置した場合、局所洗掘と共に、全体の海浜変形に注意した調査方法が必要となる。調査時には調査時間と海底までの水深を測ることによって、全体の海浜変形を測定し、安定性を検討する必要がある。

⑤ 揚圧力の発生に対する安全係数の取り方

今回の事故では、水平板下面より上方50cmのところにも最大波の下限がきたときでも揚圧力が働いたと推測できた。すなわち水面までの距離3.63mに対し、50cmの安全率では不十分ということになる($0.5/3.63=13.8\%$)。今回の事故以前(4月30日から翌1月24日の間)の最高波をみると今回設置地点の最高波6.50mに対し、5.93mが観測されている。すなわち水平板下面から最高波下限までの距離が $50\text{cm}+57\text{cm}=107\text{cm}$ ($1.07/3.63=29.4\%$)であれば揚圧力が生じていないことになる。この間で適正な安全率を検討する必要がある。このため、漁港漁場の施設の設計の手引きについても、揚圧力についてさらに踏み込んだ検討をお願いしたい。

5. 今後の計画

平成18年度から19年度調査では、礁体に生育したホンダワラ類が幼体に留まっているため、藻場形成過程や水産生物資源涵養効果を十分に把握できなかった。このたびの組織された研究会については、今後も組織を維持し、今後、移動や転倒がない円柱状ないしフレーム状の藻場造成施設について着生したホンダワラ類の生育状況や魚類の蝸集、ヤリイカの産卵について観察する予定である。さしあたって、平成20年6月に潜水観察を実施する予定である。