

第11回 那覇空港滑走路増設事業環境監視委員会

海域生物の順応的管理(海草藻場)

平成31年2月1日

内閣府沖縄総合事務局

国土交通省大阪航空局

<目次>

1. これまでの検討内容	1
1.1 順応的管理の概要	1
1.2 評価書への意見	1
1.3 本委員会での検討事項	1
2. 海草藻場の順応的管理	2
2.1 順応的管理（海草藻場）	2
2.2 調査結果	5
2.3 海草藻場の変動要因についての整理	16
2.4 変動要因についての考察結果	20
2.5 今後の対応案	30

1. これまでの検討内容

1.1 順応的管理の概要

海草藻場及びカサノリ類は海域改変区域東側において生育環境が向上すると考えられることから、環境監視調査において監視レベルを段階的に設け、事業者の実行可能な範囲内で順応的管理を行う。

1.2 評価書への意見

評価書における順応的管理に対する国土交通大臣意見及び県知事意見は、以下に示すとおりである。

閉鎖性海域内の海草藻場及びカサノリ類については、底質が安定し、生育環境が向上すると予測し、これを前提とした順応的管理を行うとしているが、底質の予測は不確実性があり、海草藻場やカサノリ類の生育に適した底質状態にならないおそれが考えられる。

このため、海草藻場及びカサノリ類の順応的管理については、事業開始前に環境監視委員会（仮称）等において専門家の意見を聴取するとともに、埋立地の存在による消失面積を念頭に残存する海草藻場やカサノリ類について順応的管理の目標を設定したうえで、計画の検討、モニタリング及びその結果を踏まえた計画の再検討等を行うこと。また、計画の検討に当たっては、必要に応じて移植の実施についても検討すること。

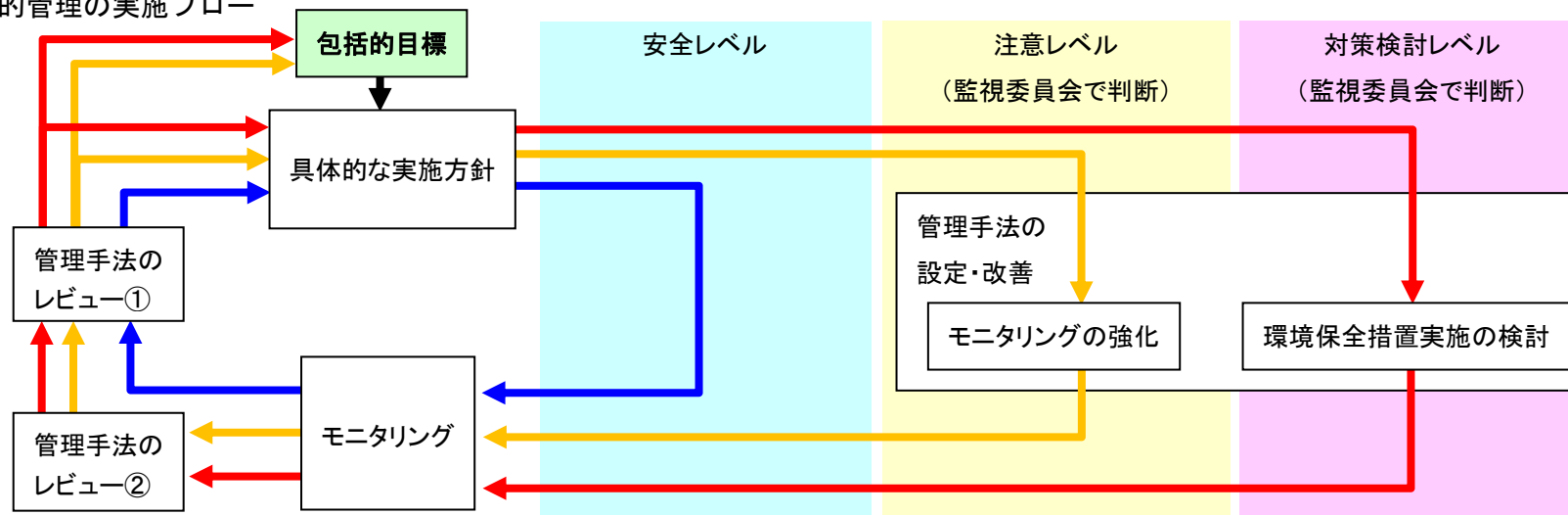
1.3 本委員会での検討事項

- ・ 第1回委員会（平成25年12月）では、順応的管理の目標（包括的目標）及び実施に当たっての方針等について概ね承認を得た。
- ・ 第4回委員会（平成27年6月）では、調査結果を解析し、順応的管理の現況を報告した。
- ・ 第6回委員会（平成28年6月）では、調査結果を解析し、順応的管理の現況を報告した。
- ・ 第8回委員会（平成29年6月）では、調査結果を解析し、順応的管理の現況を報告し、今後の対応について審議した。
- ・ 第10回委員会（平成30年6月）では、調査結果を解析し、順応的管理の現況を報告し、今後の対応について審議した。
- ・ 第11回委員会（平成31年2月）では、調査結果を解析し、順応的管理の現況を報告する。

2. 海草藻場の順応的管理

2.1 順応的管理（海草藻場）

(1) 順応的管理の実施フロー



包括的目標	<ul style="list-style-type: none"> 海草藻場については、失われる藻場の面積を念頭に、閉鎖性海域において、護岸概成後に生育環境が向上し、面積もしくは被度が維持/増加することを目標とし、実行可能な順応的管理のもと、生育環境の保全・維持管理を実施する。 順応的管理にあたっては、モニタリングを実施しながら、海草藻場の出現状況の変化に応じた監視レベルを設定し、必要に応じて、環境保全措置を講じることとする。
具体的な実施方針	<ul style="list-style-type: none"> モニタリングを行い、海草藻場構成種の生育状況や生育環境の把握を行う。 モニタリングの結果、海草藻場の生育状況や生育環境が著しく低下した場合は、学識経験者等にヒアリング等を行い、環境保全措置の検討を行う。
モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> モニタリング項目は、海草藻場構成種の生育状況及び生育環境とする。 モニタリング手法は、現地調査と同様の手法で行うこととする。（モニタリング結果を事業実施前の現地調査結果と比較するため）。
管理手法のレビュー①	<ul style="list-style-type: none"> モニタリング結果は「那覇空港滑走路増設事業環境監視委員会」に報告し、どの監視レベルに当たるかについて指導・助言を得る。 報告事項については、事業者のホームページにおいて公表する。
管理手法のレビュー②	<ul style="list-style-type: none"> 必要であれば専門委員会等を招集し、具体的な検討を進める。 専門委員会等にて報告・検討された事項については、「那覇空港滑走路増設事業環境監視委員会」に報告し、指導・助言を得る。
管理手法の設定・改善	<ul style="list-style-type: none"> モニタリングの結果より基準が達成されていないと判断される場合は、管理手法の改善として環境保全措置の実施を検討する。

図 1 本事業における海草藻場の順応的管理の考え方

(2) 順応的管理に係る勘案事項

順応的管理を行うにあたっては、監視レベルの検討が必要である。しかし、海草藻場の分布については、以下の事項を勘案する必要がある。

- ・閉鎖性海域においては、場が安定すると考えられる沖合護岸概成時以降に効果が表れる。
- ・当該海域における海草藻場は、分布位置や被度の変動が大きい。

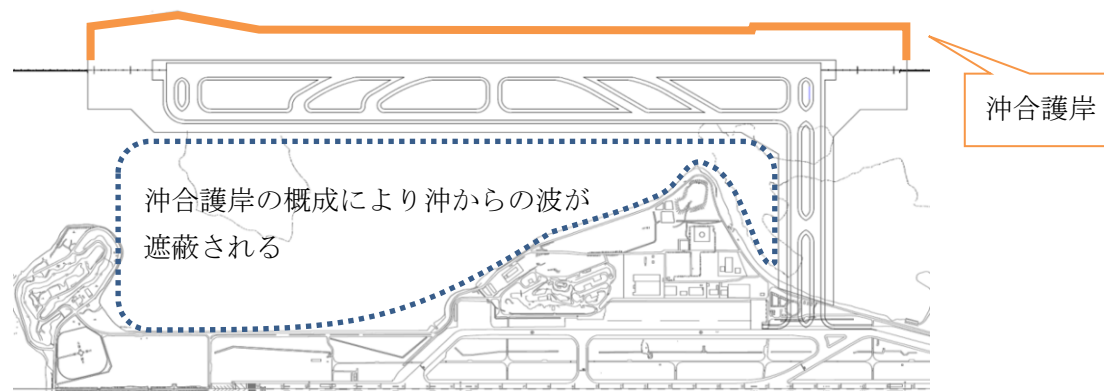


図 2 沖合護岸の位置

これより、モニタリングを行いながらデータを蓄積し、分布位置や被度の変動を把握するとともに、護岸概成後の海草藻場の分布状況を踏まえた順応的管理を行う必要がある。したがって、監視レベルの目安を下記のように定めて、モニタリング結果を「那覇空港滑走路増設事業環境監視委員会」に報告し、注意レベル、対策検討レベルに達しているか否かについて、同委員会において検討することとする。

【注意レベルの目安】：海草藻場の分布域が、自然変動の範囲※を大きく下回り、生育域が減少している状況

⇒ 対策：モニタリング項目や頻度を強化し、沖縄島の他地域（対照区）と比較、解析、考察する。

また、環境保全措置の具体的な内容について検討する。

※自然変動の範囲：既往調査やモニタリングの分布面積及び変動範囲→今後モニタリングを行いながら決定する。

【対策検討レベルの目安】：海草藻場の分布域が、注意レベル時の分布域を下回ったまま回復傾向がみられない状況

⇒対策：学識経験者等にヒアリングを行い、環境保全措置の実施を検討する。

(3) モニタリングの内容

1) 定期調査項目

海草藻場の調査項目として、生育状況のほか、生育環境についても、モニタリングを行う。

表 1 海草藻場のモニタリング概要

モニタリング項目		調査時期	備考
①海草藻場の生育状況	<ul style="list-style-type: none"> • 出現種 • 被度 • 水深 • 底質概観 • 浮泥の堆積 	工 事 中：四季 存在・供用：夏季・冬季	定点調査 5m×5m (6 地点)
②海草藻場の分布状況	<ul style="list-style-type: none"> • 分布図作成 • 被度別分布面積 		分布調査
③海草藻場の生育環境	<ul style="list-style-type: none"> • 底質基盤の状況 • 浮泥の堆積状況 		「海域生物の生息・生育環境」の項目で調査

2) 任意調査項目

海草藻場の順応的管理においては、「閉鎖性海域において、護岸概成後に生育環境が向上し、面積もしくは被度が維持/増加することを目標」としていることから、護岸概成時に閉鎖性海域において生育基盤の調査を行い、海草藻場の基盤環境の状況を把握する。

また、過年度調査時に冬季の干出や低温により葉部が枯死し、海草類の被度低下が生じている。地下茎の残存状況を把握してはどうかと委員からご助言をいただき、改変区域西側、閉鎖性海域、対照区において地下茎調査を実施した。

表 2 海草藻場の追加モニタリング概要

モニタリング項目		調査時期	備考
①海草藻場の基盤環境	<ul style="list-style-type: none"> • 底質（砂・砂礫）の分布状況 	平成 27, 28 年度春季 平成 29, 30 年度春季・冬季実施	
②海草藻場の地下茎	<ul style="list-style-type: none"> • 葉と地下茎・根の乾燥重量 	平成 30 年度春季・秋季	改変区域西側、閉鎖性海域、対照区

2.2 調査結果

(1) 分布調査

1) 工事前

評価書における現地調査結果及び工事前の分布調査結果を以下に示す。また、海草藻場の分布域の変遷の重ね合わせを図 4 に示す。

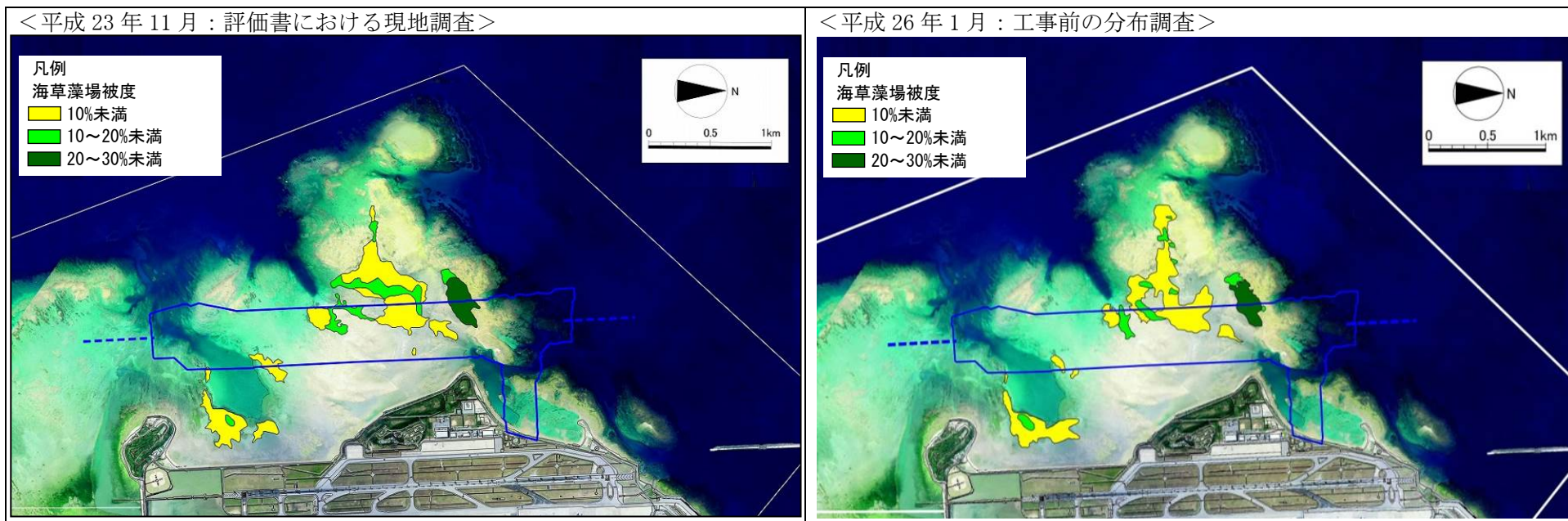


図 3 工事前における海草藻場の分布調査結果

表 3 工事前における海草藻場の分布面積

区分	平成 23 年 11 月			平成 26 年 1 月		
	改変区域 (ha)	残存域 (ha)	合計 (ha)	改変区域 (ha)	残存域 (ha)	合計 (ha)
■ 10%未満	13.6 (36%)	24.5 (64%)	38.1	12.1 (32%)	26.0 (68%)	38.1
■ 10-20%未満	4.0 (32%)	8.4 (68%)	12.4	3.1 (40%)	4.6 (60%)	7.7
■ 20-30%未満	3.6 (57%)	2.7 (43%)	6.3	2.8 (50%)	2.8 (50%)	5.6
海草藻場分布域合計	21.2 (37%)	35.6 (63%)	56.8	18.0 (35%)	33.5 (65%)	51.5



図 4 海草藻場の変遷の重ね合わせ(工事前)

2) 環境監視調査

< 改変区域西側 >

平成 30 年度春季・夏季の海草藻場の分布面積は 37.8~41.0 ha で、工事前の 21.4~46.9 ha、工事中の 23.7~41.2 ha の変動範囲内であった。被度別の分布面積をみると、被度 10~20%未満の区域が平成 30 年度春季に減少し、工事前、工事中を下回った。

春季・夏季調査において、複数の地点で砂の流出による地下茎の露出が確認された。St. a では夏季に砂の堆積による海草の埋没も確認された。また、いずれの調査時期、調査地点においてもリュウキュウスガモの葉枯れが確認された。

こうした砂の流出・堆積や季節的な葉枯れにより、被度が低下したと推定される。

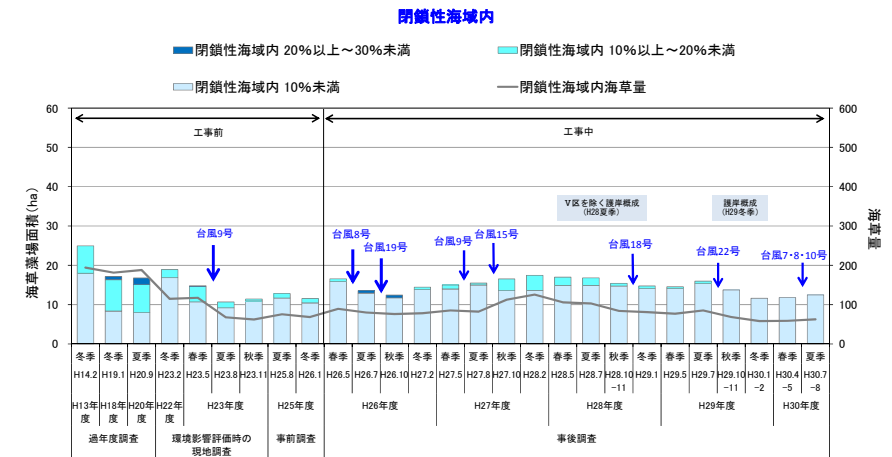
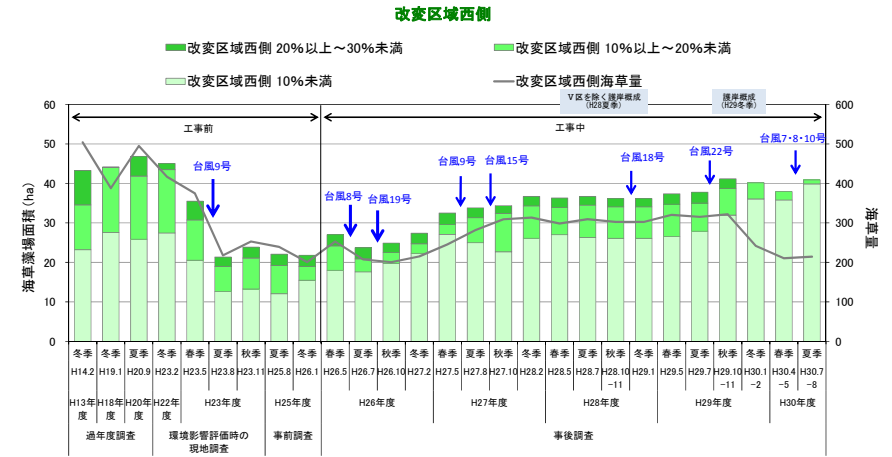
なお、平成 30 年 7 月に沖縄本島に接近した台風 7、8、10 号による藻場の分布状況の大きな変化はみられなかった。

< 閉鎖性海域 >

平成 30 年度春季・夏季の海草藻場の分布面積は 11.8~12.5 ha であり、工事前の 10.7~24.9 ha、工事中の 11.6~17.4 ha の変動範囲内であった。被度別の分布面積をみると、被度 10%以上の区域は確認されなかった。

夏季に葉上への藻類の付着割合が改変区域西側と比較して高い傾向がみられた。また、埋在生物の生息孔形成より生じた海底の起伏が広範囲で確認され、これによる地下茎の露出や海草の埋没がみられた。

平成 28 年度以降、葉枯れや埋在生物の生息孔により生じた海底起伏による海草の地下茎露出や埋没が一因と考えられる被度の低下が確認されている。こうした状況は定点調査においても閉鎖性海域内の St. S3, S4 でも確認されている。



注：1. 海草藻場面積には、改変区域内の海草藻場の面積は含まれていない。
 2. 海草量は、被度別の面積の変化を視覚化した指標で、各被度の中間値にそれぞれの面積を乗じた値の合計である。
 例) 20%以上~30%未満(中間値 25) : x ha、
 10%以上~20%未満(中間値 15) : y ha、
 10%未満 (中間値 5) : z ha の場合、海草量は(25×x+15×y+5×z)。

図 5 海草藻場の分布面積の経年変化

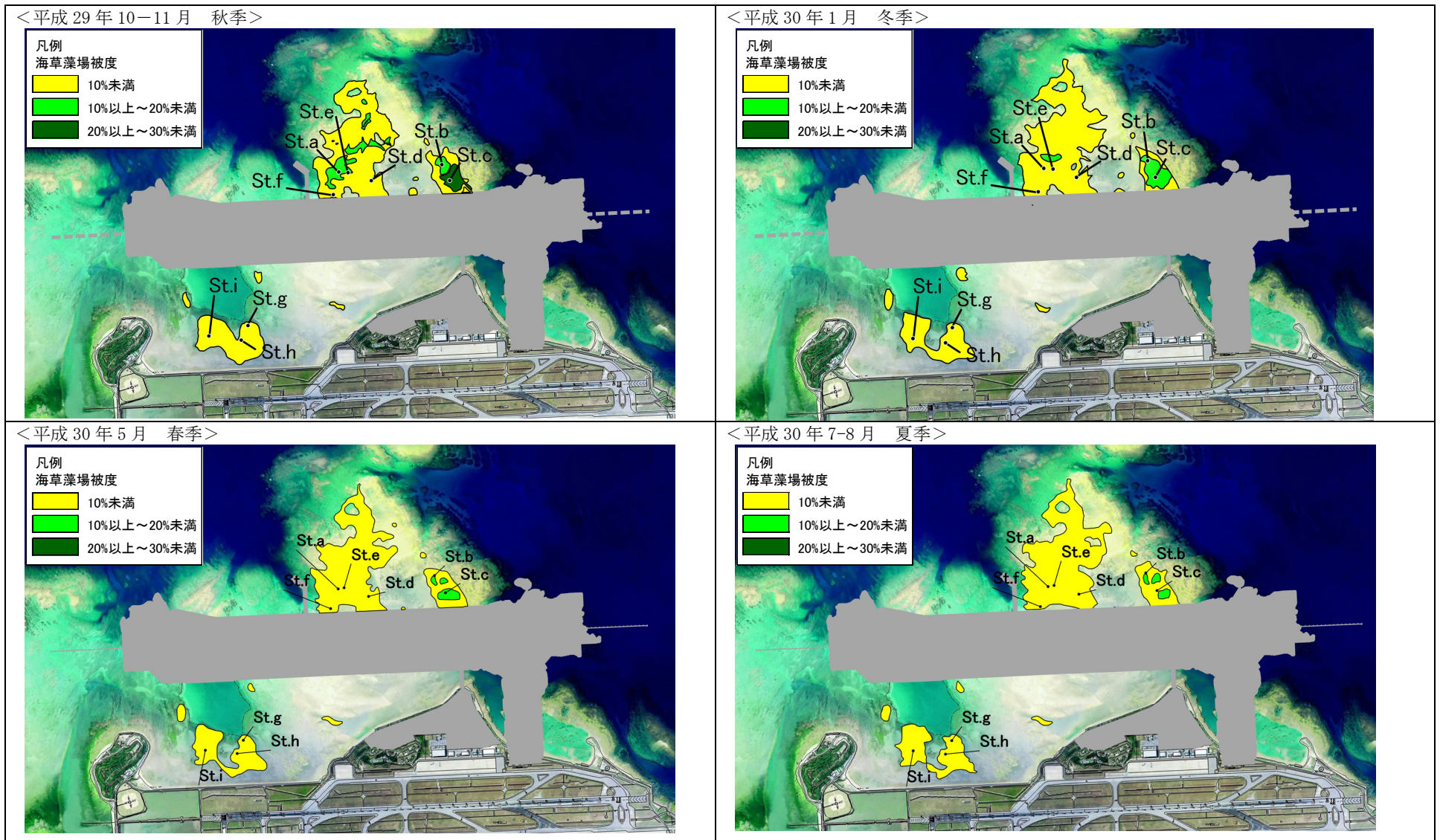


図 6 海草藻場の分布状況の経年変化

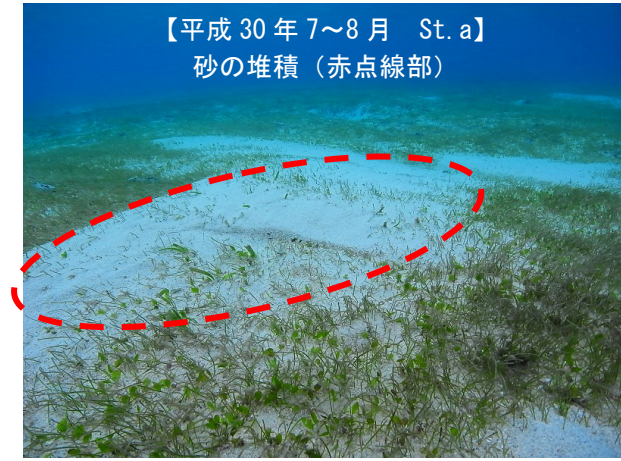
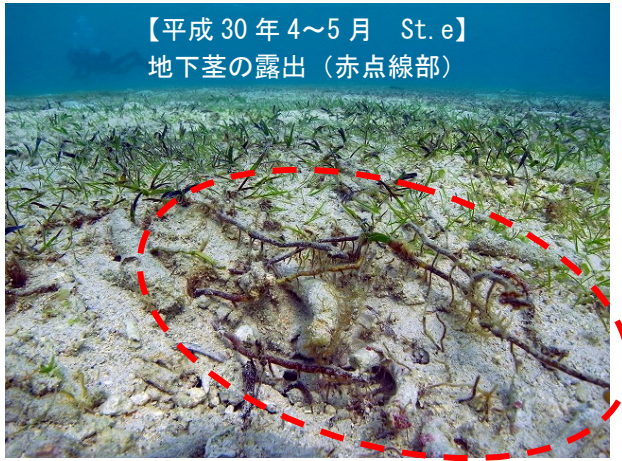


図 7 変更区域西側の状況

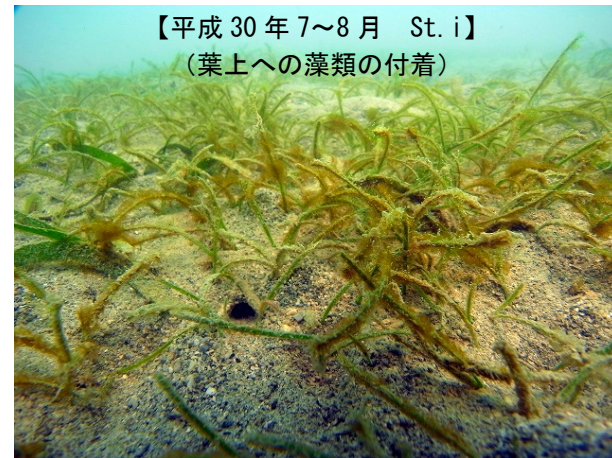
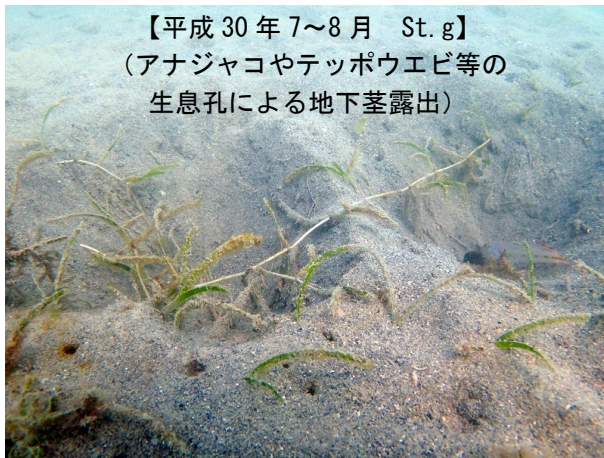


図 8 閉鎖性海域内の状況

<「コア」となる分布域との比較>

調査海域で主要な藻場構成種となっているリュウキュウスガモなどの海草は主に地下茎により被度、分布範囲を拡大するため、過年度調査において継続して海草藻場が確認された場所は海草藻場の分布域の「コア」として機能していると考えられる。したがって、こうした場所で海草藻場が維持されていることが重要である。

○改変区域西側

台風の影響を受けた平成 23 年度夏季以降、平成 28 年度冬季まで海草藻場の面積や被度は増加傾向にあり、平成 29 年度冬季に被度は低下しているが、平成 30 年度春季・夏季の面積に大きな変動はみられなかった。工事前の全ての調査で海草藻場が確認されたコアな場所のほとんどにおいて継続して海草藻場が確認された。しかしながら、被度は葉枯れや砂の移動による海草の流出・埋没により、平成 30 年度春季・夏季に低下し、工事前、工事中の変動範囲を下回った。

環境影響評価書において、土地又は工作物の存在及び供用により、海浜流による海草藻場への影響が予測されており、今後も注視していくこととする。

○閉鎖性海域内

台風の影響を受けた平成 23 年度夏季以降、平成 28 年度冬季まで海草藻場の面積や被度は増加傾向にあったが、平成 28 年度春季以降は海草藻場の面積、被度とも低下傾向にあった。平成 30 年度春季・夏季の藻場面積は工事前の変動範囲内であり、工事前の全ての調査で海草藻場が確認されたコアな場所のほとんどにおいて継続して海草藻場が確認されているものの、被度 10%以上の比較的高被度な区域の面積は工事前の変動範囲を下回った。また、閉鎖性海域に設定された海藻草類定点調査地点 (St. S3, S4) においては被度が過年度調査を下回っている。

環境影響評価書において、土地又は工作物の存在及び供用により、波浪による外力が低下することで底質が安定し、海草藻場を構成する海草類の生育環境は向上すると予測されているが、藻場の分布面積や被度が減少、低下傾向にあり、予測外の影響についても検討する必要がある。本年度調査で海草藻場の消失箇所でも底質の変化がみられ、今後も注視していくこととする。

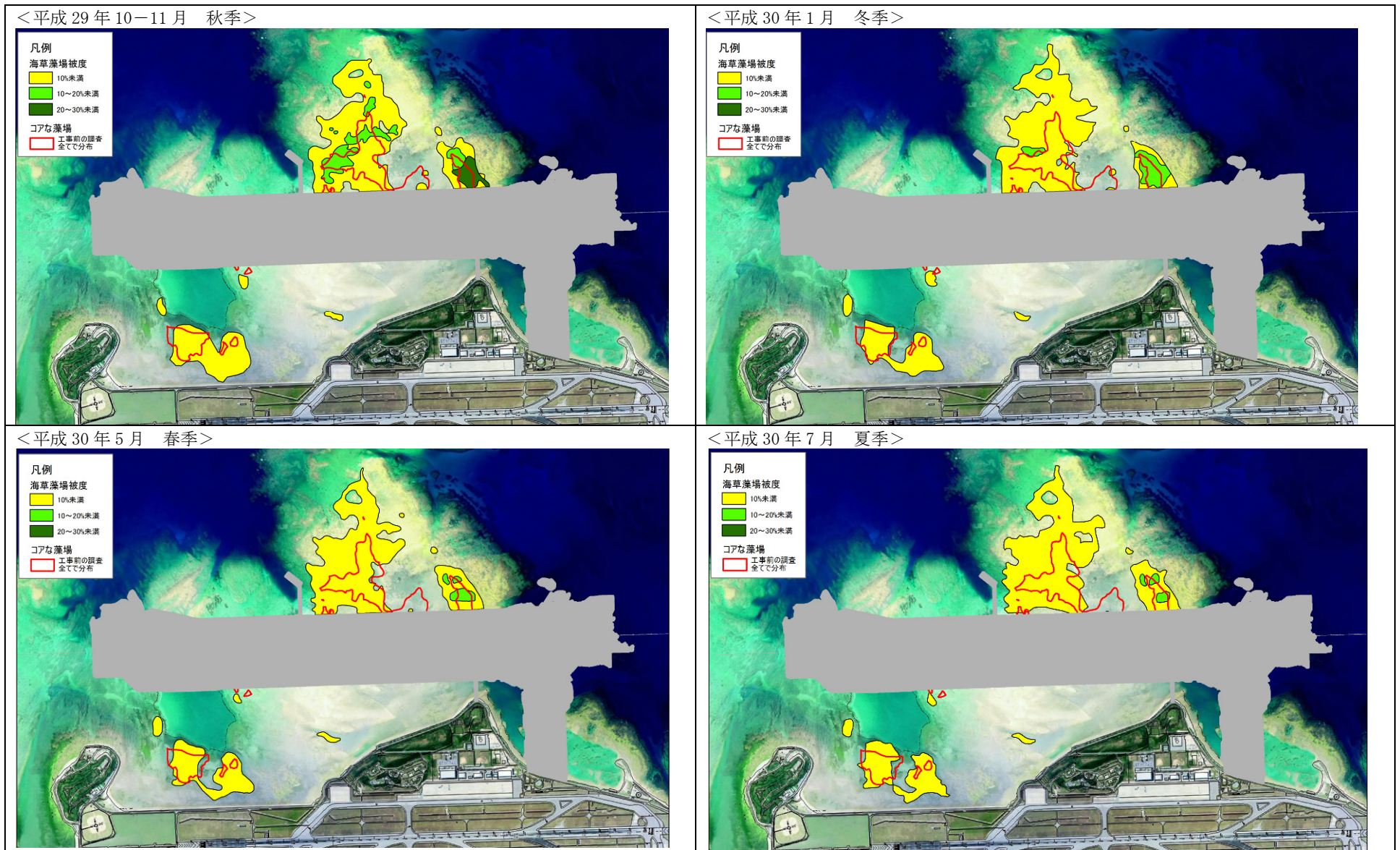


図 9 海草藻場とコアな海草藻場範囲との比較

(2) 定点調査

海草藻場の事後調査は、過年度より当該海域の海草藻場内の代表点に設定された調査定点において実施しており、平成 25 年度冬季より過年度調査すべてで藻場が確認されている場所に St. S5、S6 を追加し、St. S1 の海草が平成 26 年 10 月以降に消失したため、平成 27 年度冬季に St. S1 の代替地点となる St. S7 を設置した。

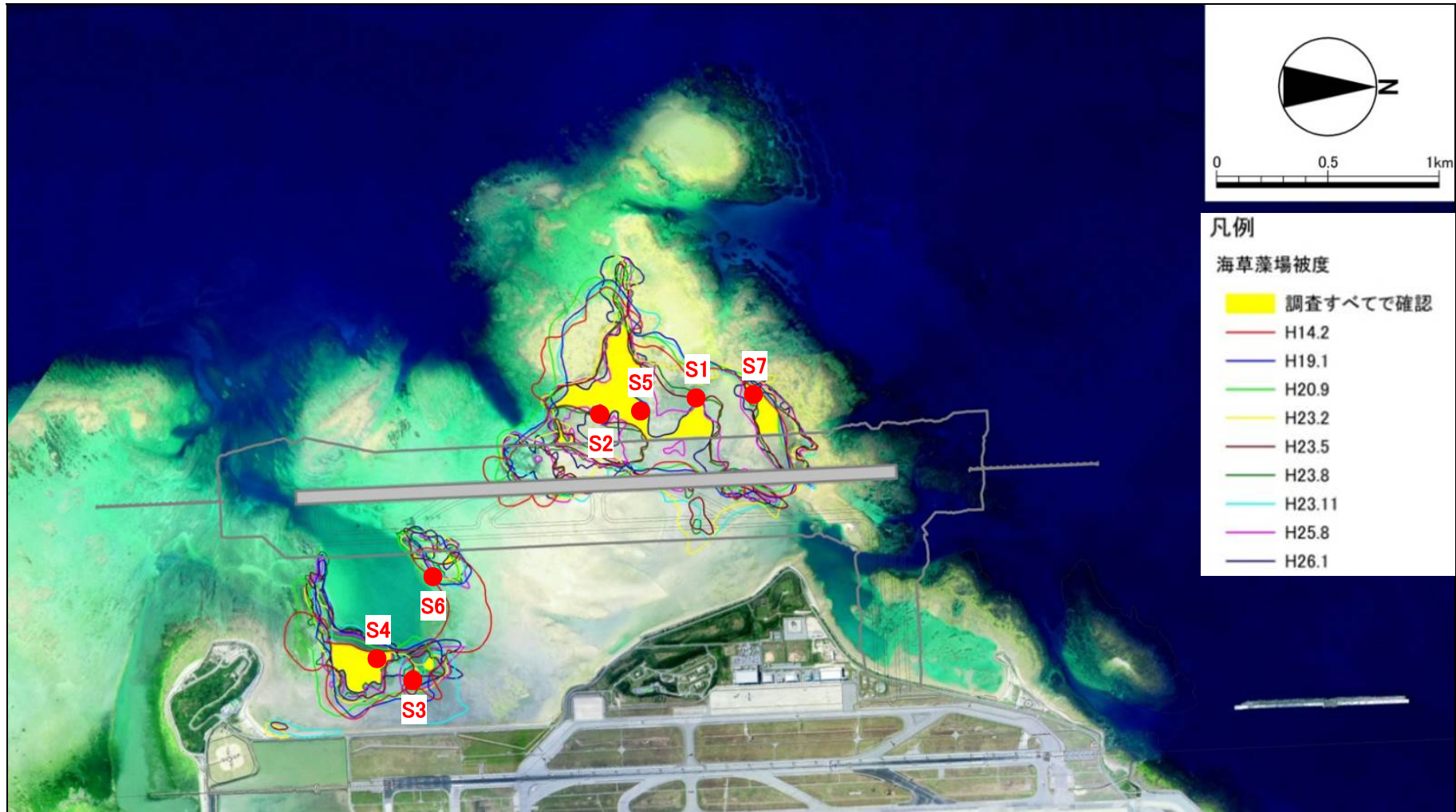


図 10 海草藻場の定点調査地点及び過年度分布重ね合わせ

平成 29 年度における St. S2～St. S7 の海草藻場被度において、工事前の変動範囲を下回る地点 (St. S3、St. S4、St. S5) がみられた。また、St. S6 においては被度が極めて低い状態で推移した。St. S5 について、近年は被度の大きな変化はみられず、台風が主因と考えられる。St. S3, S4, S6 については、葉枯れや埋在生物の生息孔形成に伴う海底起伏による流出・埋没等により、被度は低下傾向にあった。

表 4 定点調査における過年度からの調査結果概要

区分	地点	被度	構成種数	優占種	備考
改変区域西側	S1	0～45%	0～4	リュウキュウスガモ	台風の高波浪の影響を受け、被度が低下。藻場が復元する可能性が低いことから、平成 28 年 5 月に調査を終了した。
	S2	5%未満	3～4	特になし	5%未満と被度が低い。 葉枯れの多い時期がみられる。 構成種は、リュウキュウスガモやウミヒルモ等。 浮泥の堆積や珪藻類の葉上への付着はみられない。
	S5	5%未満～15%	3～4	リュウキュウスガモ	台風の高波浪の影響を受け、被度が低下。 葉枯れの多い時期がみられる。 浮泥の堆積や珪藻類の葉上への付着はみられない。
	S7	15～25%	3	リュウキュウスガモ	被度は 15～25%であり、改変区域西側では比較的高い地点に設定。 浮泥の堆積や珪藻類の葉上への付着はみられない。
閉鎖性海域内	S3	5%未満～15%	4～7	リュウキュウスガモ マツバウミジグサ	S1 や S2 に比べ浮泥の堆積が多い。 葉枯れの多い時期がみられる。 浮泥の堆積や葉上に珪藻類の付着を確認。
	S4	5%～20%	3～5	リュウキュウスガモ	S1 や S2 に比べ浮泥の堆積が多い。 葉枯れの多い時期がみられる 浮泥の堆積や葉上に珪藻類の付着を確認。
	S6	5%未満	2～3	特になし	葉枯れの多い時期がみられる。 浮泥の堆積や珪藻類の葉上への付着はみられない。

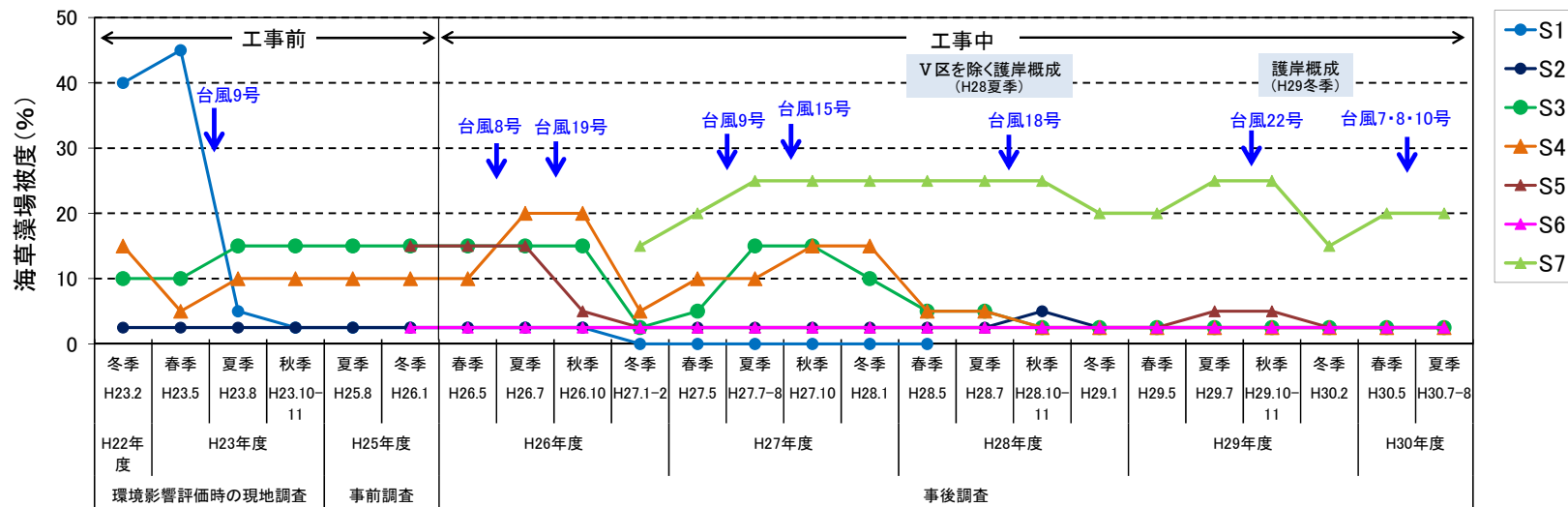


図 11 定点調査における藻場被度の経年変化

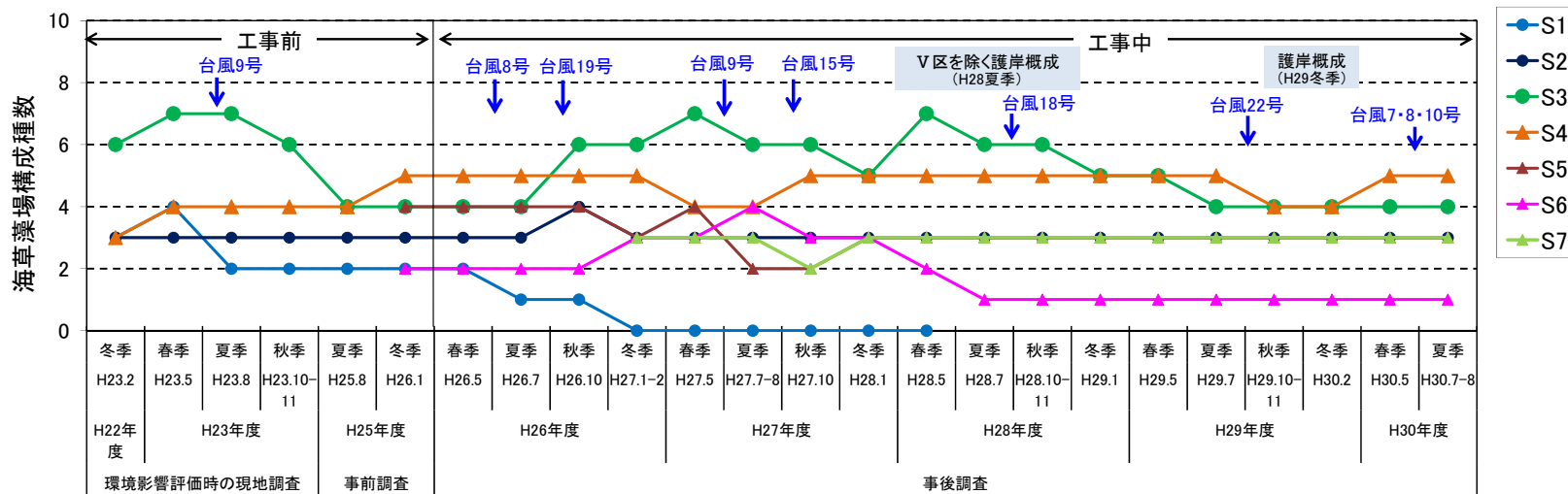


図 12 定点調査における藻場構成種数の経年変化

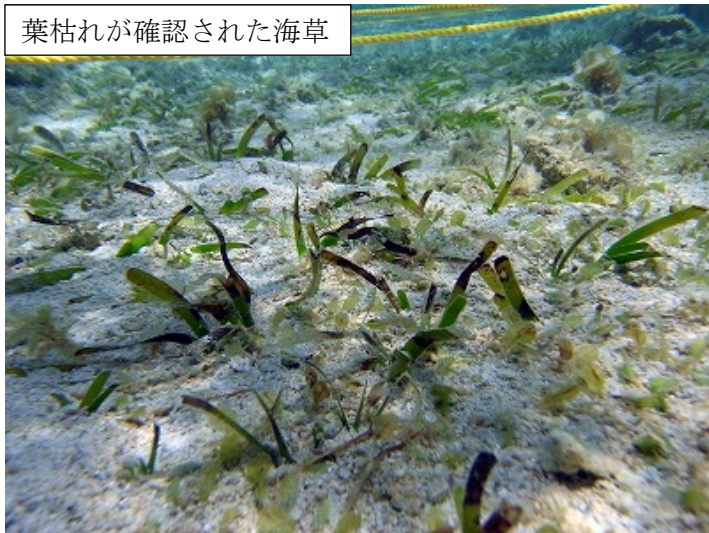
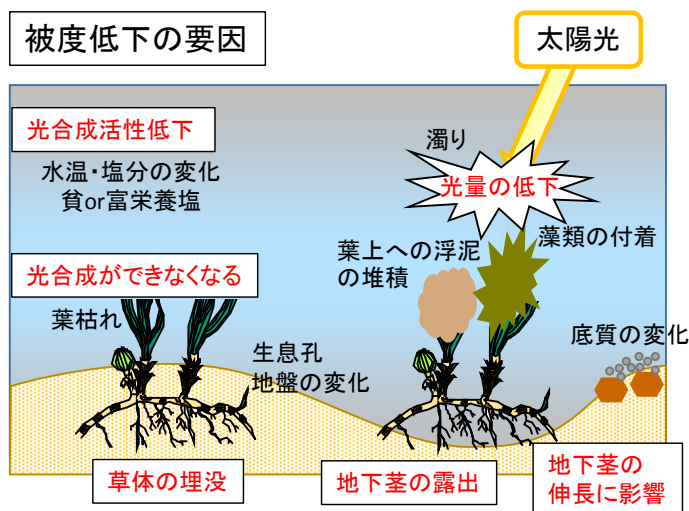


図 13 葉枯れのイメージ (St. S2、春季、海草藻場被度 5%未満、葉枯れ割合 30%)

2.3 海草藻場の変動要因についての整理

海草藻場の変動要因のうち代表的なものを表5に示す。また、これらの要因が事業の影響により変化しているか、海草藻場に影響を与えているかどうかを検討した。

表5 被度低下の要因（閉鎖性海域）



被度低下の要因	それぞれの事象が起こりうる要因	検討材料
葉枯れ	冬季夜間干出による低温ストレス や夏季の干出による乾燥ストレス	海草の生育状況 気温、降水量 海草藻場底質調査結果
濁り 葉上への浮泥の堆積	工事の濁りによる細粒分の堆積 波浪による外力の低下 陸域からの濁水の流入	海草の生育状況 水質調査結果及び監視調査結果
藻類の付着	波浪による外力の低下 陸水の流入等による栄養塩の増加	海草の生育状況 水質調査結果及び監視調査結果
水温・塩分の変化	気温の上昇・低下 陸水の流入	気温、降水量 水質調査結果及び監視調査結果
貧栄養・富栄養	陸水の流入 埋立地の存在	水質調査結果及び監視調査結果 海草の生理状態（光合成活性）調査
地盤の変化	波浪による外力の低下 台風等の高波浪による底質攪乱 生息孔の増加	台風の経路 海草藻場底質調査結果 生息孔の状況（現場観察）
底質の変化 （粒度組成や酸化還元電位、全硫化物等）	工事の濁りによる細粒分の堆積 波浪による外力の低下により、底質が安定 台風等がなかったことによる堆積 台風等の高波浪による底質攪乱	台風の経路 水質調査結果及び監視調査結果 粒度組成等、底質調査結果

注：それぞれの事象が起こりうる要因として、工事中の影響を青字、存在・供用時の影響を緑字で示した。

白 紙

閉鎖性海域内では、継続的に葉枯れ、葉上への藻類の付着や浮泥の堆積が確認されている。葉上への藻類の付着や浮泥の堆積は、工事前から確認されており、付着している藻類や浮泥をはがすと草体は生育していた。しかし、平成 28 年度夏季に V 工区を除く護岸が概成し、閉鎖性海域となり、波浪による外力が低下したことや、平成 28, 29 年度には大型台風の接近がなかったことから、葉上の藻類や浮泥がはがれにくい状況であった可能性がある (2.4 (1) 参照)。

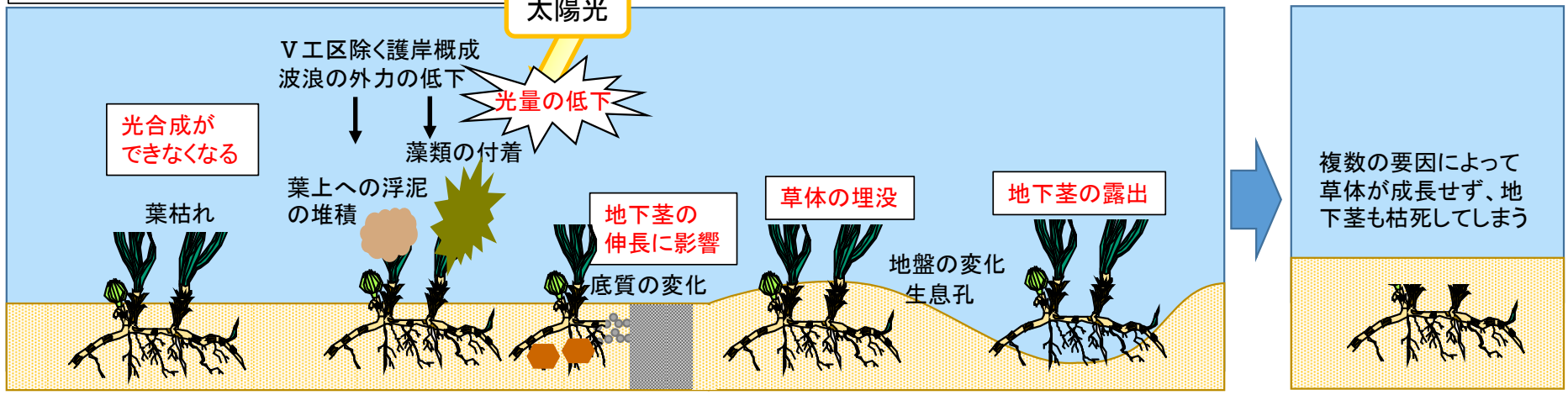
水の濁りは、日々の濁り監視調査結果より、閉鎖性海域内では、工事の有無に関わらず春季・夏季に高く、秋季・冬季に低い傾向がみられている。また、海草藻場の被度の低下や分布面積の減少の時期との相関はみられない (2.4 (2, 3) 参照)。

水温・塩分や栄養塩類 (水質調査、T-N, T-P) 調査結果より、工事前後や護岸概成前後で水質に大きな変化はみられておらず (資料 3 水質参照)、海草の生理状態 (光合成活性) についての調査結果からも、水温・塩分の変化や栄養塩類により被度低下が起こっている可能性は低いと考えられる (2.4 (3) 参照)。

事後調査として実施している底質調査の粒度組成やその他の項目については、工事前後や護岸概成前後で大きな変化はみられていない (資料 3 底質参照)。しかし、閉鎖性海域の海草藻場生育域の事後調査地点が少なく、海草の生育環境により特化した調査は行っていないことから、今後より詳細な底質の変化と海草の被度低下との関連性を検討していくこととする。

以上のことから、図 15 に示すとおり、閉鎖性海域内では、複数の要因によって、被度が低下していると考えられる。

閉鎖性海域内の被度低下のイメージ



改変区域西側の被度低下のイメージ

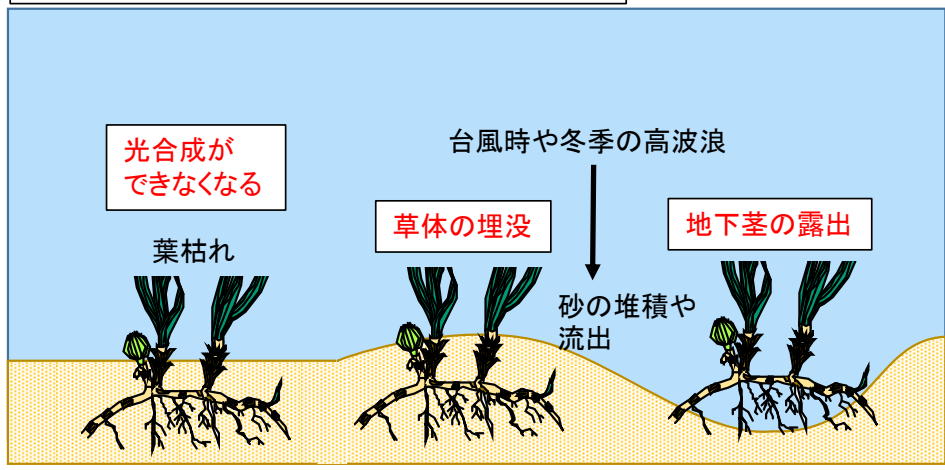


図 15 被度低下のイメージ図

2.4 変動要因についての考察結果

(1) 海草の生育状況

1) 事業実施区域（定点）

事業実施区域内の定点（St. S1～S7）における葉枯れ、葉上の藻類付着、浮泥の堆積割合の経年変化は図 17 に示すとおりである。

葉枯れについては、改変区域西側では、平成 26, 28, 29 年度冬季に、閉鎖性海域内では、平成 26 年度冬季、平成 28 年度春季に多く確認されている。平成 26, 27 年度は、調査月の平均気温が低い傾向にあり、冬季風浪の影響を大きく受けた可能性がある。

葉上の藻類付着割合については、多くの地点で断続的に確認されており、閉鎖性海域内では、夏季に高い傾向がある。

浮泥の堆積については、改変区域西側では、平成 28 年度に高く、閉鎖性海域内の St. S3, S4 では、工事前に確認されていたが、平成 26, 27 年度はあまり確認されず、平成 28 年度春季・夏季に確認されている。

平成 28 年度夏季に V 工区を除く護岸が概成し、閉鎖性海域となり、波浪による外力が低下したことや、平成 28, 29 年度には大型の台風の接近がなかったことから、葉上の藻類や浮泥がはがれにくい状況であった可能性がある。

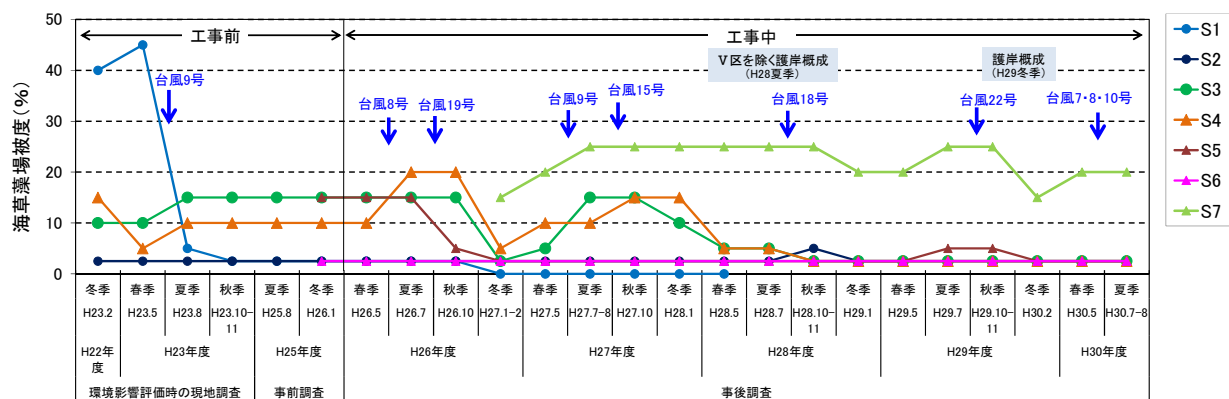
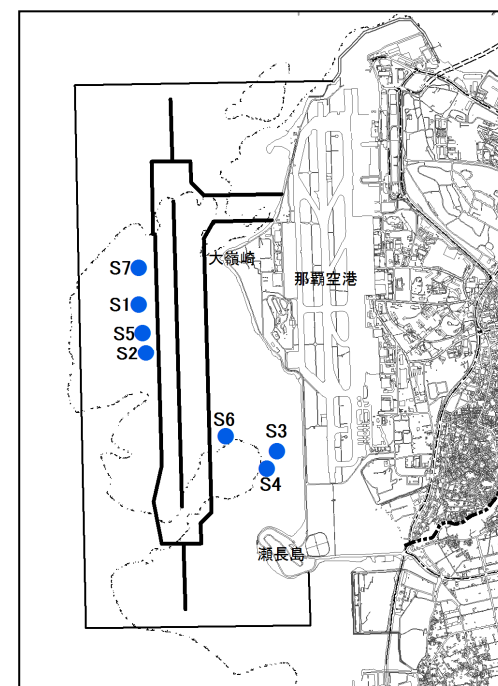
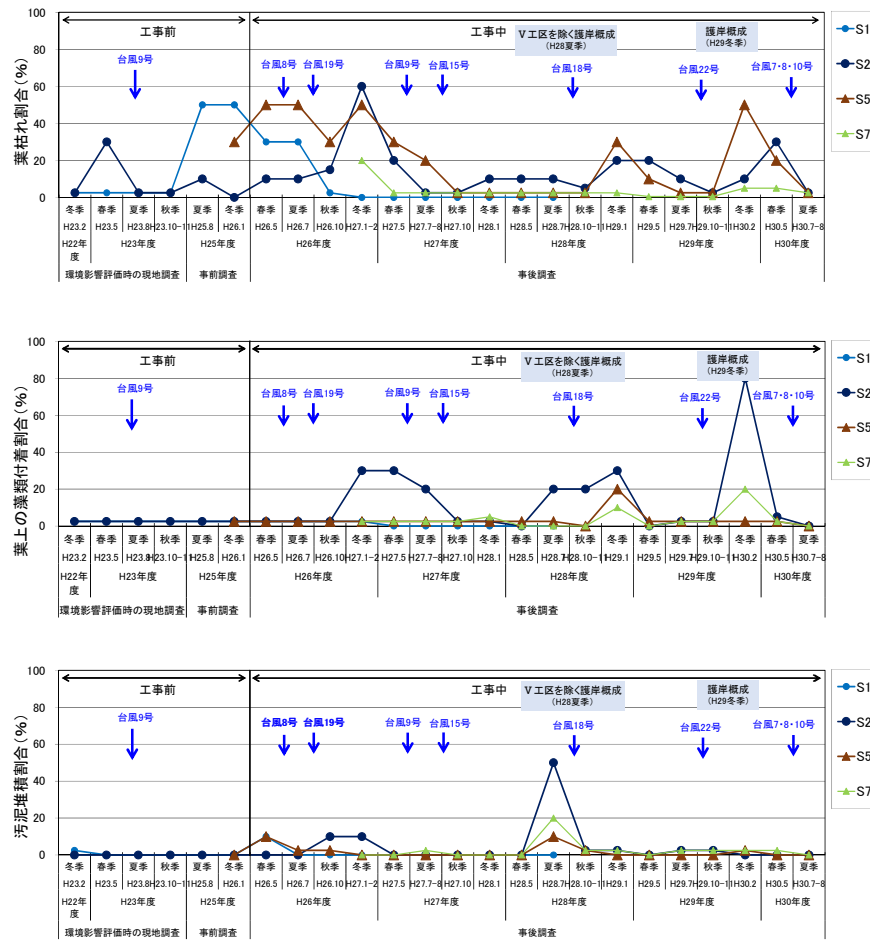


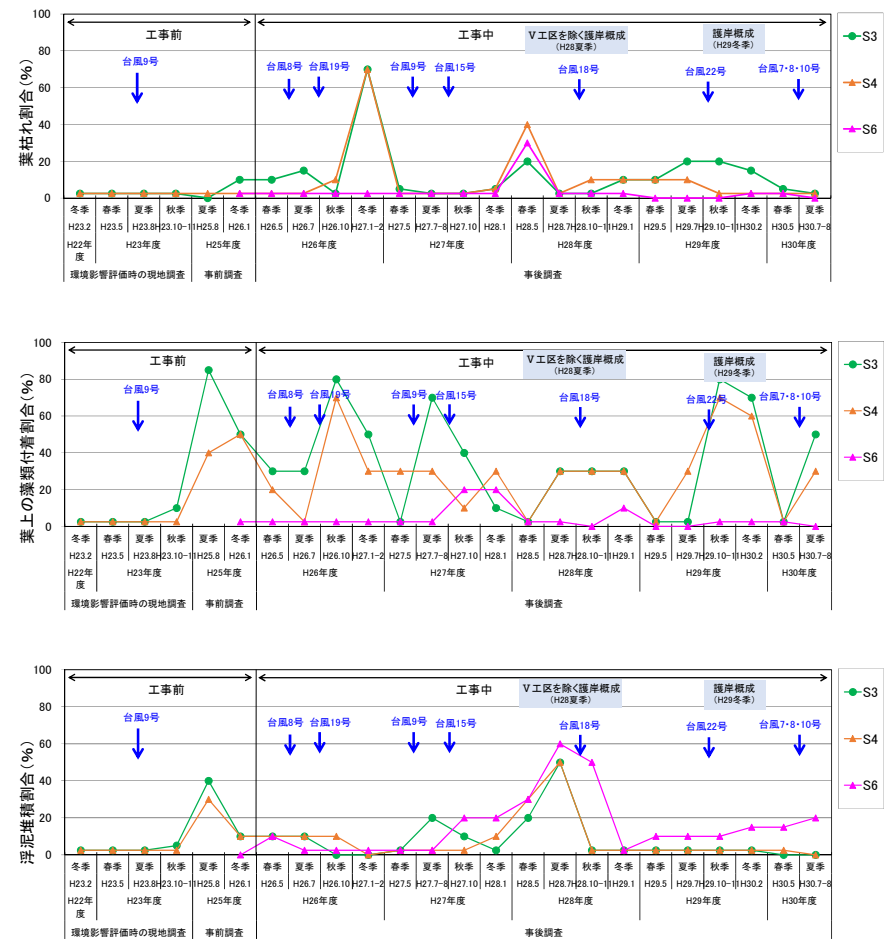
図 16 定点調査における藻場被度の経年変化



【改変区域西側海域】



【閉鎖性海域】



注：「葉枯れ割合」及び「葉上の藻類付着割合」は、コドラート（5m×5m）内の海草の葉に占める葉枯れ及び藻類が付着している割合を示す。
「浮泥堆積割合」は、コドラート（5m×5m）内の浮泥が堆積している割合を示す。

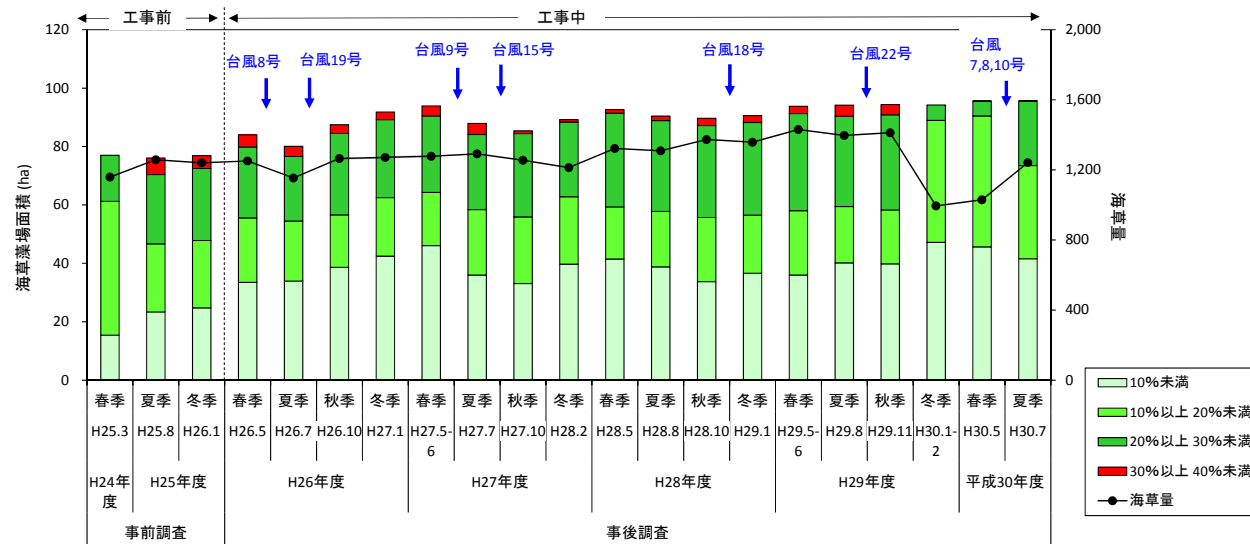
図 17 事業実施区域（定点調査地点）における海草の生育状況

2) 対照区 (定点)

対照区調査において、St. b-3 などで平成 29 年度冬季の被度低下が確認されており、これは主に葉枯れによるものであった。事業実施区域における冬季調査においても葉枯れによる被度の低下が確認されたが、これは対照区調査でも同様であることから、季節的な変動と考えられる。

一方で、対照区では平成 30 年度春季・夏季には被度の回復がみられている。

地下茎調査の結果においても、対照区では冬季の葉枯れで被度低下した地点でも地下茎が確認されており、葉枯れにより葉部が減少するものの、地下茎は減少せず維持されていることで、環境条件が好転した場合に速やかに被度が回復していると考えられる。



注：海草量は、被度別の面積の変化を視覚化した指標で、各被度の中間値にそれぞれの面積を乗じた値の合計である。

例) 20%以上～30%未満(中間値 25) : x ha、

10%以上～20%未満(中間値 15) : y ha、

10%未満 (中間値 5) : z ha の場合、海草量は $(25 \times x + 15 \times y + 5 \times z)$ 。

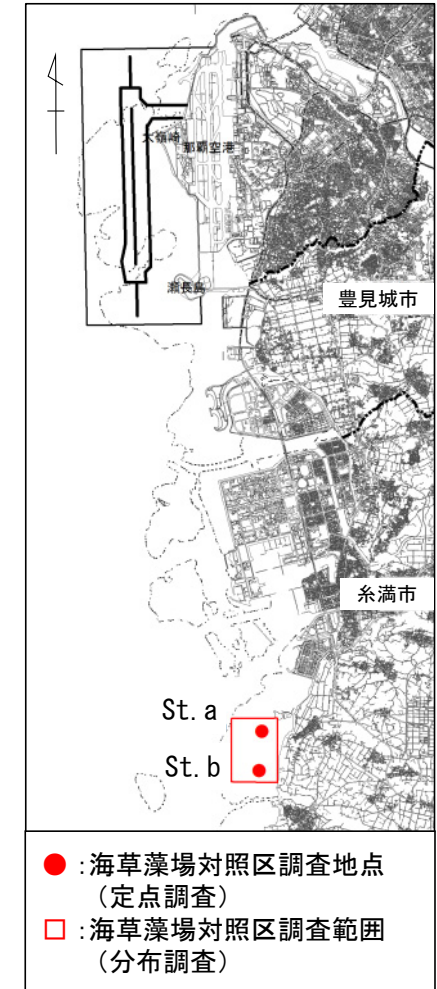
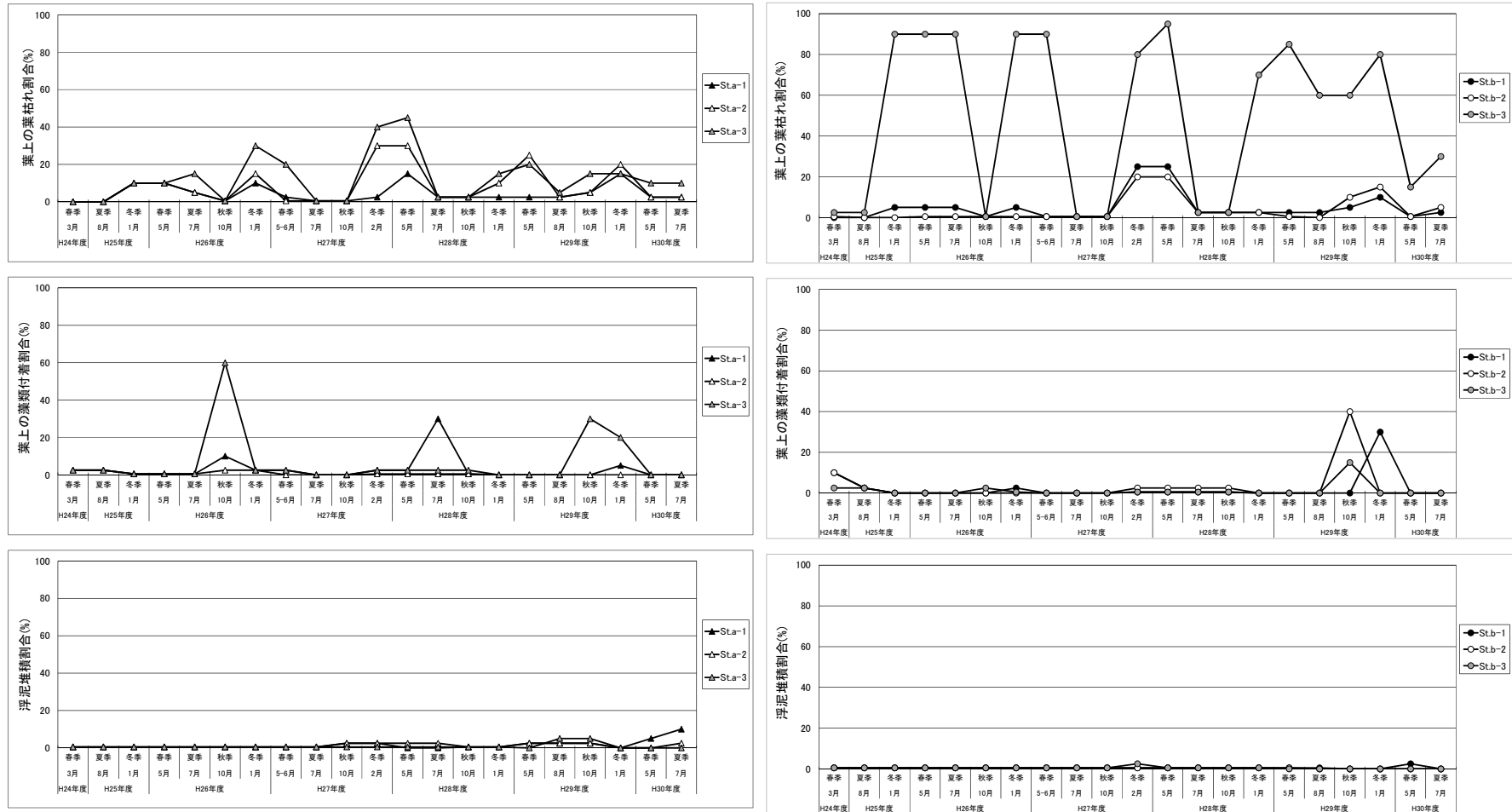


図 18 海草藻場の分布面積の経年変化 (対照区)

対照区の定点（St. a-1～a-3, b-1～b-3）における葉枯れ、葉上の藻類付着、浮泥の堆積割合の経年変化は図 19 に示すとおりである。対照区においては、葉枯れは継続的に確認されているものの、葉上への浮泥の堆積や藻類の付着はほとんど確認されていない。



注：「葉枯れ割合」及び「葉上の藻類付着割合」は、コドラート（5m×5m）内の海草の葉に占める葉枯れ及び藻類が付着している割合を示す。「浮泥堆積割合」は、コドラート（5m×5m）内の浮泥が堆積している割合を示す。

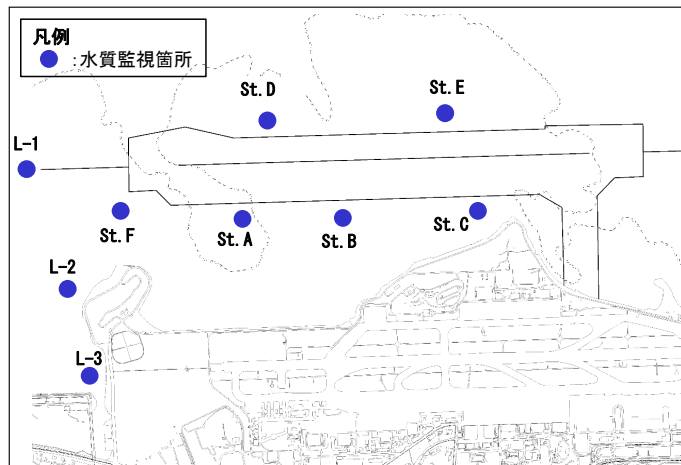
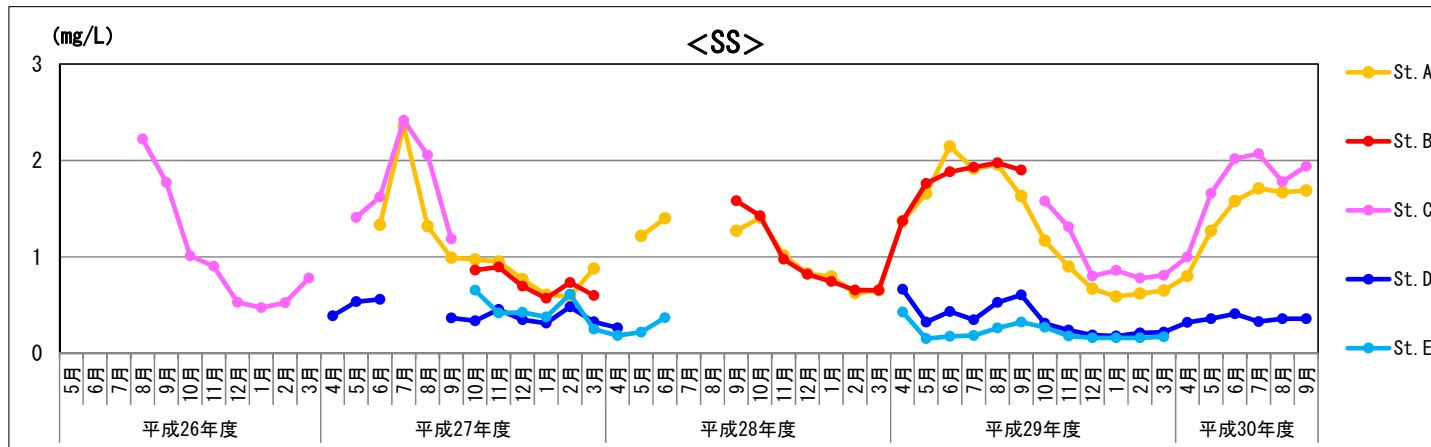
図 19 対照区（定点調査地点）における海草の生育状況

(2) 水質

1) 水の濁り監視調査結果

水の濁り監視調査結果のSS換算値の月平均を以下に示す。調査位置は工事の状況に併せて随時変更しているため、近傍の調査結果を整理した。

閉鎖性海域内の調査結果（St. A～C）については、工事の有無に関わらず春季・夏季に高く、秋季・冬季に低い傾向がみられている。また、海草藻場の被度の低下や分布面積の減少の時期との相関はみられない。



注：St. A～Fは概略の調査位置を示す。
L-1～3は平成28年9月に調査開始

図 20 水の濁り監視調査地点におけるSS換算値の月平均及び調査地点

2) 伊良波排水路からの濁りの流入について

水の濁り監視調査結果のうち、伊良波排水路周辺の地点について、SS 換算値の月平均を整理した。また、併せて月降水量についても、気象庁ホームページ「過去の気象データ検索：安次嶺」を基に作成した。

L-2、L-3 の数値が高い月には、St. A, F でも SS が高い傾向がみられている。

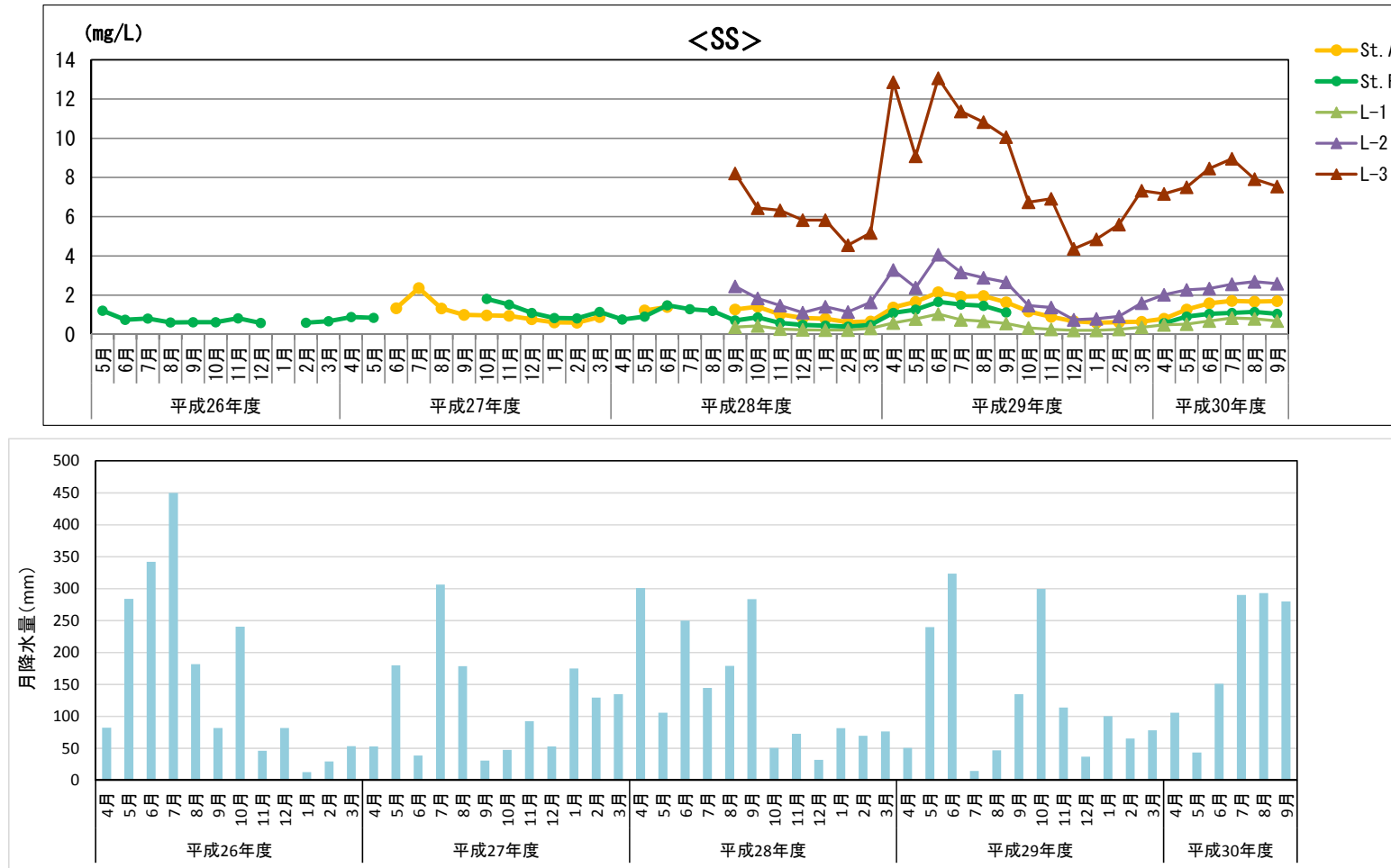


図 21 水の濁り監視調査地点における SS 換算値及び月降水量

(3) 海草の生理状態（光合成活性）についての調査

1) 調査方法

海草類の生理状態を数値により把握するために、Diving PAM によって光合成活性測定を行った。Diving PAM による光合成活性測定では、海草類にあたった光のうち、光合成に利用された光の割合を算出している（≒光エネルギーの利用効率）。

$$(\text{光合成活性}) \approx (\text{光合成に利用した光エネルギーの量}) / (\text{海草にあたった光エネルギーの総量})$$

光合成活性の値は 0~1 の間で変動し、健全なリュウキュウスガモでは 0.7~0.8 前後の値を示すとの報告がある^{引用文献 1,2,3}。高水温²や貧栄養、乾燥¹など環境条件が悪化すると、海草類の生理状態の悪化により光合成に利用できるエネルギー量が減少し、光合成活性は低下する。本調査で測定する光合成活性は、「光化学系 II の最大量子収率」と呼ばれる数値であり、光の利用効率しており、光合成量の値ではない。

調査は海藻草類（定点調査）を実施する 6 地点および対照区調査（定点調査）を実施する 2 箇所 6 地点の合計 12 地点において、リュウキュウスガモの光合成活性を測定した。測定は暗条件で実施する必要があるため、1 調査地点当たり 3 ヶ所に暗幕を設置し 10 分間静置した。その後、リュウキュウスガモ 12 株を対象に光合成活性を測定した。測定器を葉の表面に垂直にした状態で測定した。

表 6 光合成活性測定概要

モニタリング項目	使用機器	調査時期	調査内容	備考
海草（リュウキュウスガモ）の生理状態	Diving PAM（水中型パルス変調クロロフィル蛍光測定器、Walz 社）	四季	1 調査地点当たり 3 ヶ所に暗幕を設置し、10 分間静置した後、リュウキュウスガモ 12 株/1 調査地点を対象に、Diving PAM を用いて光合成活性（光化学系 II の最大量子収率）を測定した。	・事業実施区域周辺：6 地点 ・対照区：2 地点

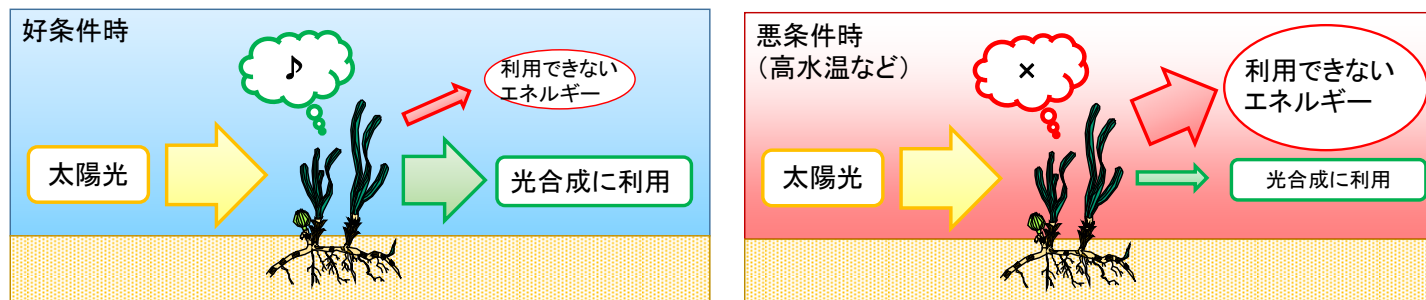
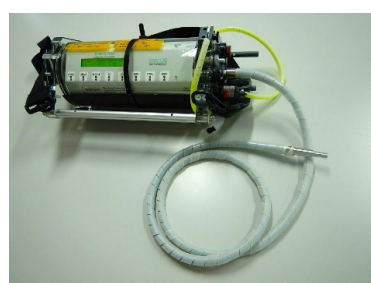


図 22 光合成活性のイメージ

2) 調査結果

各調査地点の光合成活性は、平成 29 年度秋季に 0.73~0.77、平成 29 年度冬季に 0.50~0.71、平成 30 年度春季に 0.67~0.80、平成 30 年度夏季 0.73~0.78 であり、平成 29 年度冬季の事業実施区域の結果を除き、いずれの海域においても既往研究で“健全”とされる値であった（図 23）。平成 29 年度冬季の事業実施区域については、対照区と比較すると水温が低く、平成 30 年度春季には、健全とされる値に回復していたことから、低水温により一時的に光合成活性が低かったと考えられる。したがって、リュウキュウスガモは光合成活性の観点からは概ね健全な状態であったと考えられる。

引用文献

1. Björk M, Uku J, Weil A, Beer S (1999) Photosynthetic tolerances to desiccation of tropical intertidal seagrasses. *Mar Ecol Prog Ser* 191: 121-126
2. Campbell SJ, McKenzie LJ, Kerville SP (2006) Photosynthetic responses of seven tropical seagrasses to elevated sea water temperature. *J Exp Mar Biol Ecol* 330: 455-468
3. Lan CY, Kao WY, Lin HJ, Shao KT (2005) Measurement of chlorophyll fluorescence reveals mechanisms for habitat niche separation of the intertidal seagrasses *Thalassia hemprichii* and *Halodule uninervis* *Mar Biol* 148:25-34

調査海域	秋季	冬季	春季	夏季	秋季
	H29.10-11	H30.1-2	H30.5	H30.7	H30.10-11
閉鎖性海域内	0.77±0.04, 23~24℃	0.50±0.07, 16℃	0.75±0.04, 25~27℃	0.75±0.02, 28~29℃	0.79±0.03, 24~25℃
改変区域西側	0.73±0.03, 28~29℃	0.52±0.09, 16~19℃	0.72±0.07, 25℃	0.76±0.02, 28~30℃	0.76±0.04, 26℃
対照区	0.73±0.05, 25~26℃	0.71±0.05, 19~21℃	0.73±0.03, 24℃	0.74±0.01, 28~29℃	0.7±0.05, 26℃

※数値は「平均値±標準偏差、水温の最小～最大値」を示す。

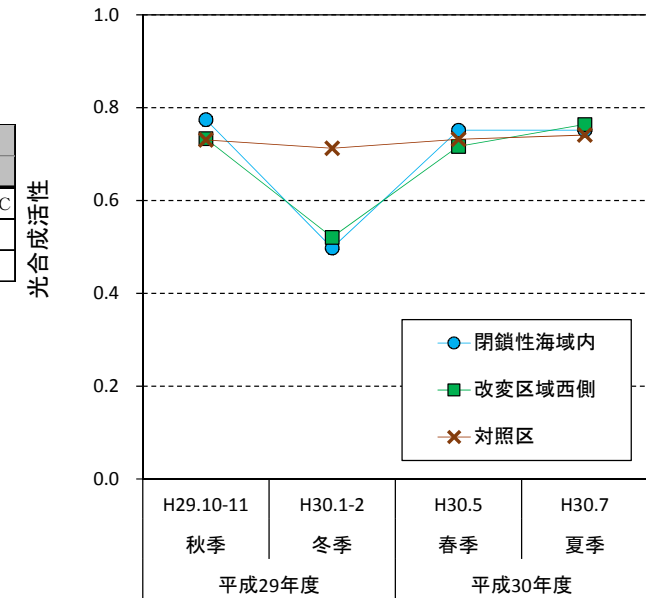


図 23 調査海域毎の光合成活性（平均値）

(4) 海草藻場底質調査との比較

1) 調査方法

海草藻場の順応的管理においては、「閉鎖性海域において、護岸概成後に生育環境が向上し、面積もしくは被度が維持/増加することを目標」としていることから、護岸概成時に閉鎖性海域において生育基盤の調査を行い、海草藻場の基盤環境の状況を把握する。

海草藻場底質調査の調査項目及び調査方法は表 8 に示すとおりである。

表 7 海草藻場の追加モニタリング概要

モニタリング項目		調査時期	備考
①海草藻場の基盤環境	・底質（砂・砂礫）の分布状況	護岸概成時に1回	分布調査 平成 27, 28 年度春季、 平成 29 年度春季, 冬季実施

表 8 調査項目及び調査方法

観察項目	内容
調査位置	RTK-GPS による測定(50m 間隔)
地盤高 ^注	RTK-GPS による測定
底質性状	目視により、岩、礫、砂礫、砂に分類
層厚	鉄杭を差し込み計測(最大 20cm まで、1 地点 3 回平均値、1cm 単位)
海草生育状況	目視により、大型海草、小型海草、無しに分類

注：地盤高の基準面は、那覇港験潮所基準面上（+）1.34mを零位とする。

2) 調査結果

平成 30 年度春季における海草藻場底質調査の調査結果及び海草藻場分布調査結果の重ね合わせ、地盤高の変化と海草藻場の分布範囲を図 24 に示す。

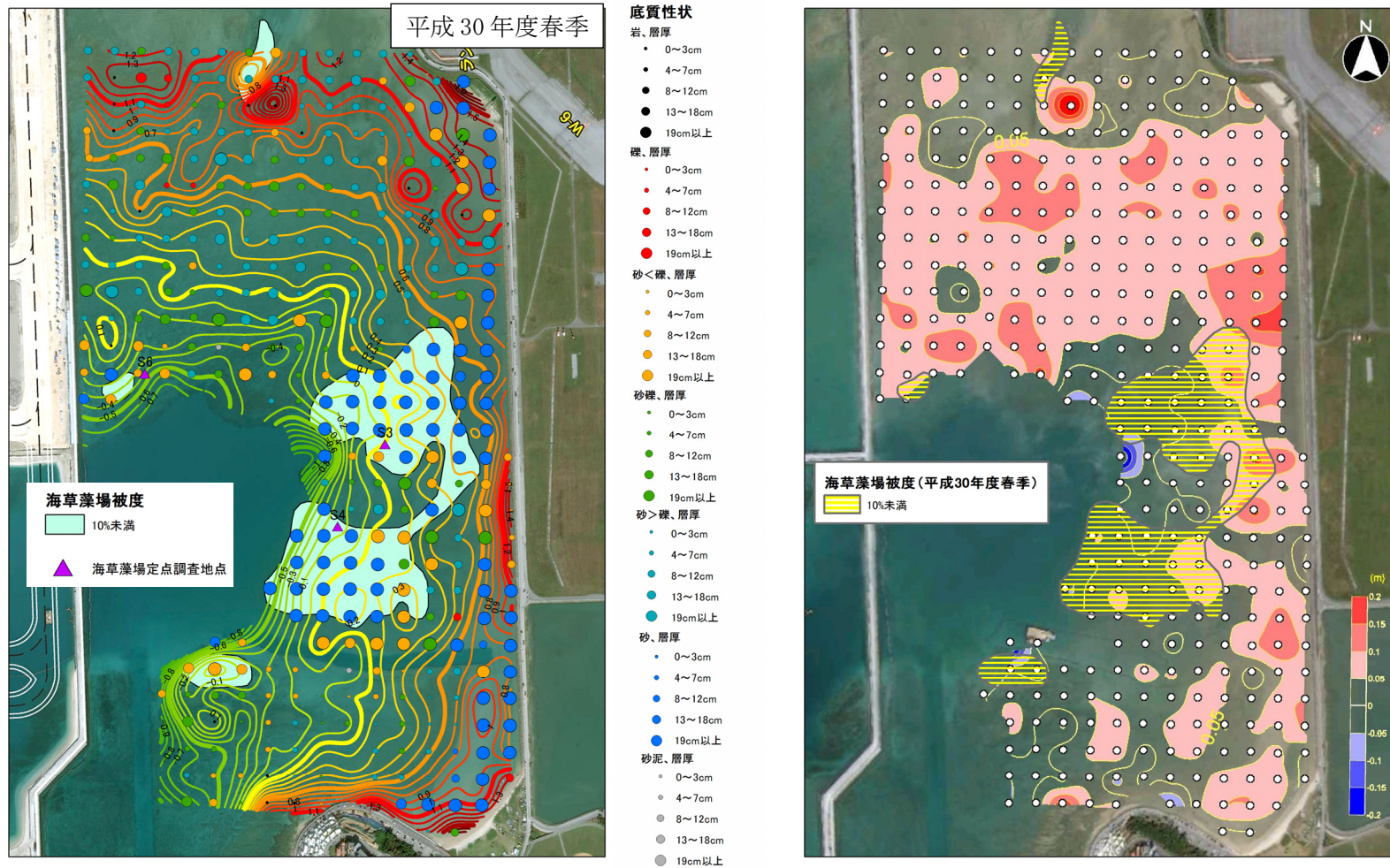
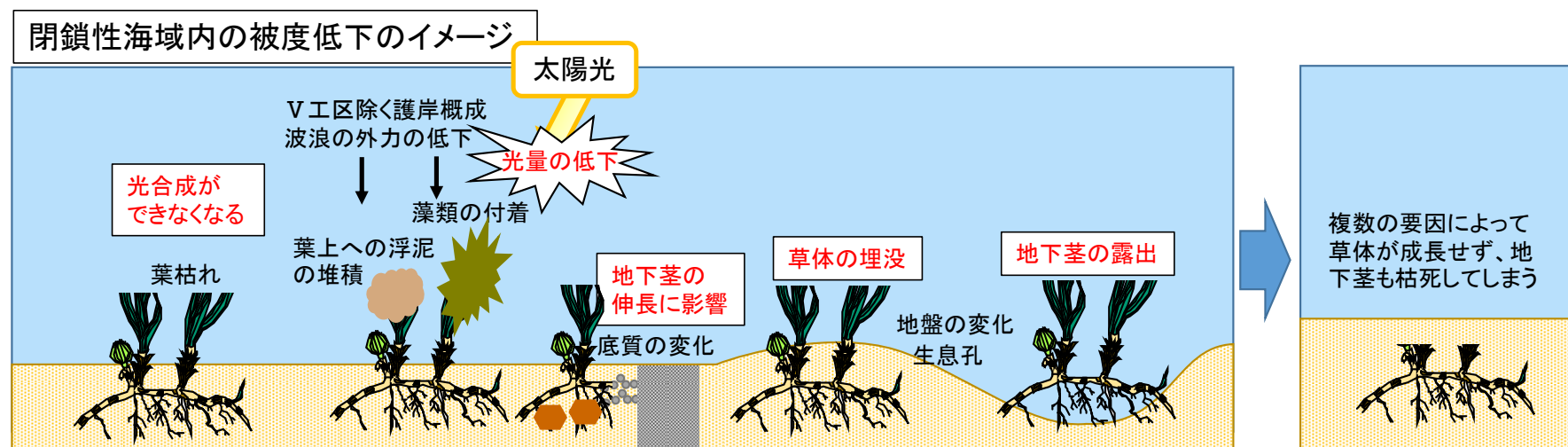


図 24 海草藻場底質調査・海草藻場分布調査結果(平成 30 年度春季)及び地盤高の変化と海草藻場の分布範囲(平成 30 年度春季—平成 29 年度冬季)

2.5 今後の対応案

現時点では分布面積は過年度の変動範囲内にあるものの、平成 29 年度秋季に高被度域が消失し、その後面積についても減少したまま回復がみられていないことから、以下の項目について取り組むことを検討する。

目的	調査項目
水温や栄養塩類	海草類の光合成活性等、海草の生理状態についての調査を継続する（実施中）。 水温の連続観測を実施する。
葉上への藻類の付着や浮泥の堆積	付着している藻類を採取する。 光量子計等を設置し、葉に届く光の量を測定する。
底質の変化	海草の生育状況の違いによって、粒度組成、底質中の礫の有無、酸化還元電位や T-S（全硫化物）等に出るかどうかを比較する。 底質の間隙水中のアンモニア、硝酸、シリカ等の濃度についても違いが出るかどうか比較する。
地盤の変化	生物の生息孔の密度等を把握する（実施中）。 地盤高や砂厚の調査を引き続き行い、調査結果について解析を進める（実施中）。
海草の生育状況の把握	海草類の地下茎の状態について調査を行う（実施中）。



(1) 地下茎調査

1) 調査方法

過年度調査時に冬季の干出や低温により葉部が枯死し、海草類の被度低下が生じている。しかし、地下茎が残存していれば、環境条件が好転すると地下茎から葉が伸長するため、被度が回復し易いと考えられる。一方、地下茎が残存していない場合、被度の回復には時間を要することが予想される。

委員より、「海草藻場の状態を把握するために、地下茎の密度もデータとしてあるとよいのでは。変更区域西側で 10cm 四方中にどのくらい地下茎があるのか、乾重量等をはかってみて、藻場が元気な（被度が高い等）ところとそうでないところで差が出るかみるとよい。」とのご助言をいただき、変更区域西側、閉鎖性海域、対照区において地下茎調査を実施した。

平成 30 年度春季に閉鎖性海域の St. S4、変更区域西側の St. S7 及び対照区の St. b-1, b-3 の近傍で 30cm×30cm の範囲内の海草類を採取し、種類別の葉と地下茎・根の乾燥重量を測定した。

- ① 地下茎を採取する場所に 30cm×30cm コドラートを設置した。コドラートは 1 調査地点当たり 3 箇所とした。
- ② ステンレススコップで枠内を 20cm 程度掘り、海草の葉、地下茎、根を採取した。なお、地下茎の採取のため空けた穴は埋め戻した。
- ③ 海草に付着した砂や礫を取り除いた後、種別に葉鞘の数を計数した。
- ④ 「葉部」と「地下茎・根」に切り分け、80℃で重量が恒量になるまで乾燥した。
- ⑤ 種別に「葉部」と「地下茎・根」の乾燥重量を測定・記録した。

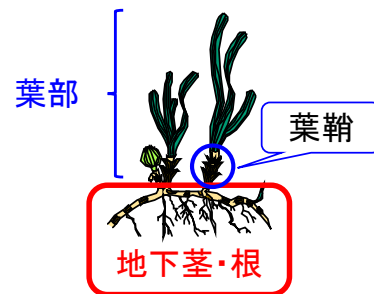
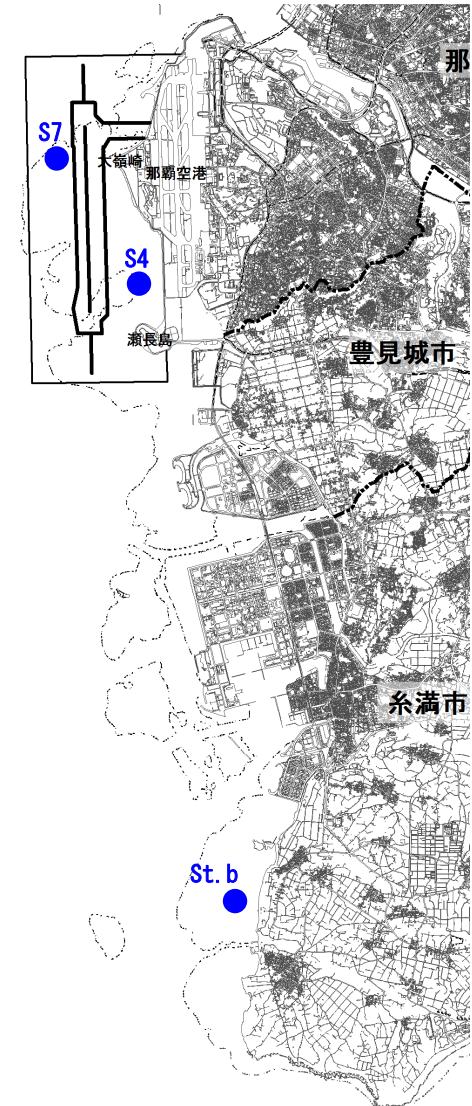


図 25 リュウキュウスガモの葉部、地下茎・根



2) 調査結果

リュウキュウスガモの地下茎の乾燥重量は St. S4 で 0.9~3.2g、St. S7 で 27.4~45.5g であり、生育被度の違いを反映する結果であった(表 9)。また、St. S7 では地下茎が密に重なり合い、底質(砂礫)を強固に保持していたが、St. S4 では地下茎が疎に分布し、底質(砂)は波浪等により移動し易い状況であった。

3) 地下茎の比較

リュウキュウスガモの地下茎・根の乾燥重量は、閉鎖性海域内の St. S4 (被度 5%未満) で最も小さく、対照区の St. b-1 (被度 20%) で最も大きかった。また、リュウキュウスガモの地下茎・根の乾燥重量は、海草生育被度と有意な相関関係がみられた ($p < 0.05$)。

St. S7、St. b-1 の被度はともに 20%で、シュート数も同程度であったが、地下茎・根の乾燥重量は St. S7 で 27.4~45.5g だったのに対し、St. b-1 では 60.9~72.3g と 2 倍程度の差がみられた。過年度の被度をみると、St. S7 は 15~25%であるのに対し、St. b-1 では 25~45%と高い被度を示している。St. b-1 では昨年度、被度の低下がみられたものの、地下茎は残存したことで、被度は St. b-1 と St. S7 と同程度であっても、St. b-1 の方が St. S7 より多くの地下茎が存在していたと考えられる。

対照区の St. b-3 では、被度が 5~10%とやや低いが、地下茎・根の乾燥重量は被度 20%の St. S7 と同程度であった。St. b-3 は比較的浅く、冬季を中心に葉枯れによる被度の低下がみられるが、被度は 5~15%で維持されている。これは、葉枯れにより葉部が減少するものの、地下茎は減少せず維持されていることで、環境条件が好転した場合に速やかに被度が回復するためであると考えられる。一方、St. S4 においては地下茎・根の乾燥重量が小さく、被度低下に伴って地下茎・根も減少していることが確認された。

St. S4 以外の調査地点においては、地下茎・根が海底面下 4~20cm の深さにわたって高密度に重なり合っており、砂礫を強固に保持していた。一方、St. S4 では地下茎が 4~9cm の深さに低密度で存在するのみであり、底質の砂を保持するには至っていなかった。このため、波浪による底質の移動が生じやすい状況にあり、埋生生物の生息孔やマウンド上の塚を形成し易い環境にあると考えられる。これらの状況から、St. S4 においては被度の低下によって地下茎・根も減少した結果、更なる被度の低下を生じやすい環境になっていると考えられる。

4) まとめ

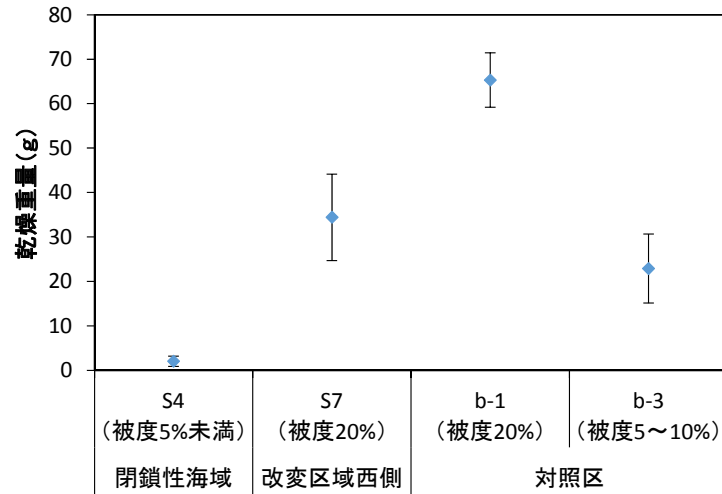
- St. S4 のリュウキュウスガモの地下茎・根の乾燥重量は他の地点と比べて最も小さかった。
- St. S4 では地下茎が 4~9cm の深さに低密度で存在するのみであり、底質の砂を保持するには至っていなかった。
- 対照区の St. b-1, b-3 では冬季の葉枯れによって被度が低下しても、地下茎は残存していた。

⇒このことから、St. S4 においては被度の回復に時間を要すると考えられる。

表 9 事業実施区域及び対照区における乾燥重量測定結果

調査地点		被度	底質	種別被度				リュウキュウスガモの地下茎の深さ (cm)	種別葉鞘数				総乾燥重量(g)		リュウキュウスガモ乾燥重量(g)		ヘニアマモ乾燥重量(g)		備考	
				リュウキュウスガモ	ヘニアマモ	マツハウミシグサ	ウミヒルモ		リュウキュウスガモ	ヘニアマモ	マツハウミシグサ	ウミヒルモ	葉部	地下茎根	葉部	地下茎根	葉部	地下茎根		
閉鎖性海域	S4	1	5%未満	砂	1%未満			1%未満	9	10			9	1.3	2.1	1.3	2.1	-	-	・埋没した地下茎がみられ、これらは黒く変色しており、枯死していた。 ・砂の粒径が細かく、穴を掘ってもすぐに崩れてしまう状況であった。
		2	5%未満	砂	1%未満	1%未満			4	7	1			0.6	0.9	0.6	0.9	ND	ND	
		3	5%未満	砂	1%未満				4~6	11				1.1	3.2	1.1	3.2	-	-	
改変区域西側	S7	1	20%	砂礫	20%				4~20	167				22.9	27.4	22.9	27.4	-	-	・地下茎が多層に入り組んだ構造となっており、底質が保持されていた。 ・地下茎は褐色で、枯死はみられなかった。 ・底質は砂または砂礫で、St.S4と比較して砂の粒径が大きかった。
		2	20%	砂礫	20%				4~20	159				22.4	30.4	22.4	30.4	-	-	
		3	20%	砂	20%				4~20	193				33	45.5	33	45.5	-	-	
対照区	b-1	1	20%	砂礫	20%				3~15	145				28	60.9	28	60.9	-	-	・一部で葉枯れがみられた。 ・地下茎が多層的に入り組んだ構造となっており、底質が保持されていた。 ・地下茎は白色または褐色で、枯死はみられなかった。 ・底質は砂礫で、サンゴ礫が多く含まれていた。
		2	20%	砂礫	20%				3~15	185				28.9	62.7	28.9	62.7	-	-	
		3	20%	砂礫	30%				3.5~14	146				18.7	72.3	18.7	72.3	-	-	
	b-3	1	10%	砂礫	5%	5%			3.5~11	53	19			6.9	20.4	6.2	17.5	0.7	2.9	・ほとんどの海草で葉枯れがみられた。 ・地下茎は多層に入り組んだ構造となっており、底質が保持されていた。 ・地下茎は白色または褐色な物が多かった。 ・黒色に変色した、枯死した地下茎が散見された。
		2	5%	砂礫	5%	1%未満	1%未満		3~12	107	8	1		11.7	20.8	11.4	19.4	0.3	1.4	
		3	5%	砂礫	5%			1%未満	3.5~13	125				7.3	31.8	7.3	31.8	-	-	

注) 1. ND は測定下限値以下であったことを示す。
2. 各地点では、コドラート (30cm×30cm) 内の海草類を採取した。



注) 1. 平均値を示し、エラーバーは標準偏差を示す。
 2. 各地点では、コドラート (30cm×30cm) 内の海藻類を採取した。

図 26 リュウキュウスガモ地下茎・根の乾燥重量の地点間比較

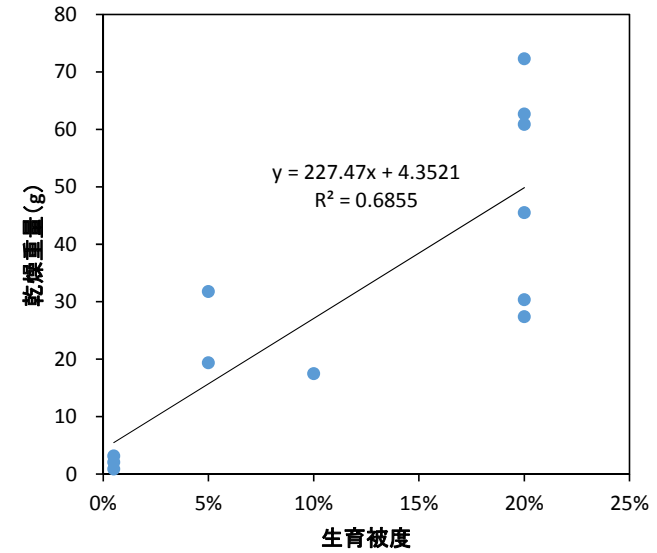


図 27 リュウキュウスガモ生育被度と地下茎・根の乾燥重量の関係

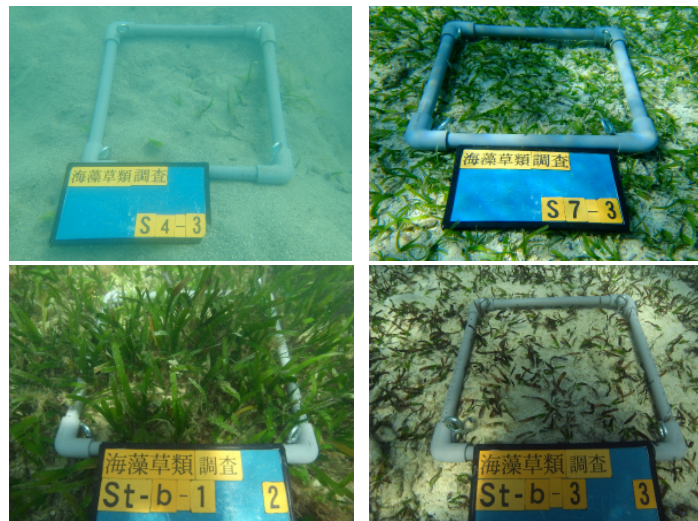



図 28 各調査地点における地下茎採取箇所状況

表 10 地下茎採取箇所とサンプル

	採取箇所	採取したサンプルの例	乾燥させた地下茎、根、葉部
St. S4 閉鎖性 海域内			
St. S7 改変区 域西側			
St. b-1 対照区			
St. b-3 対照区			

注) 各調査地点において3ヵ所で採取しており、上記写真は代表的な1箇所のものである。

參考資料

【参考資料1 過年度の海草藻場の分布状況】

- ・ 海草藻場は季節的な海草類の消長に加え、台風時の高波浪により分布域が変化している。

【工事前】

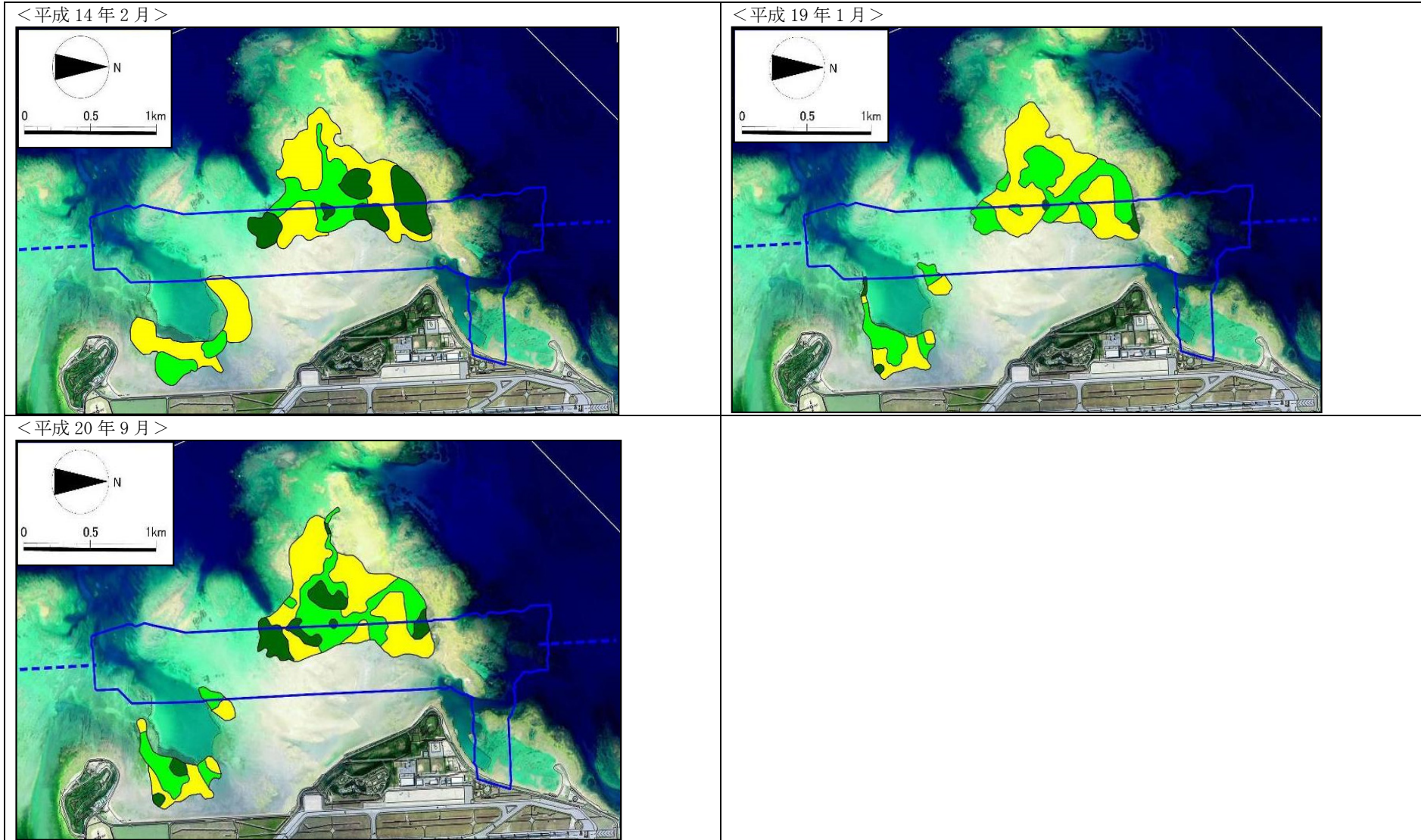
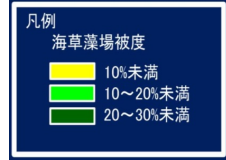


図 29 (1) 海草藻場の分布状況の経年変化

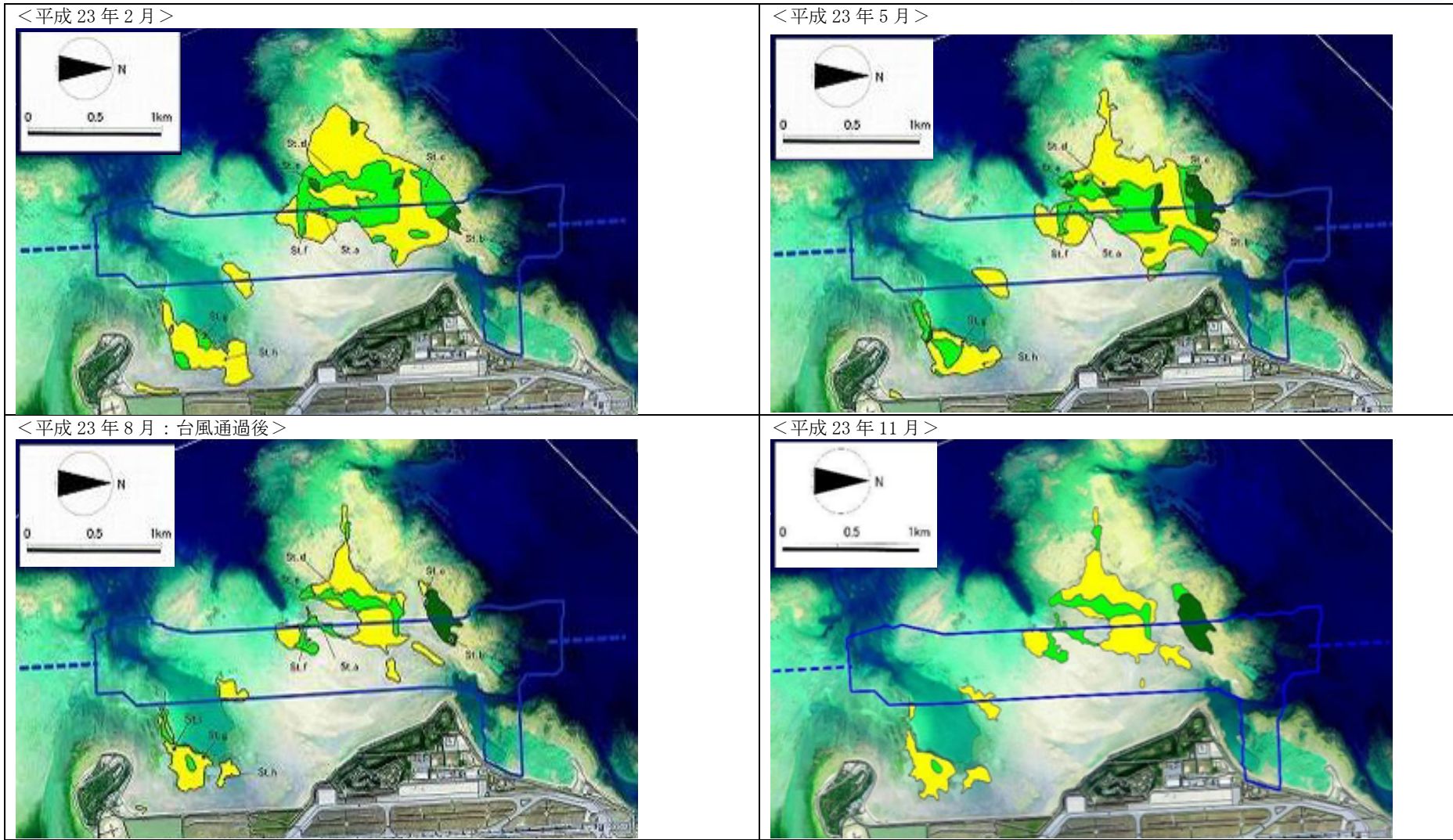
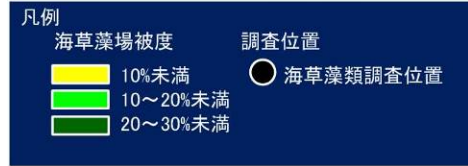


図 29 (2) 海草藻場の分布状況の経年変化

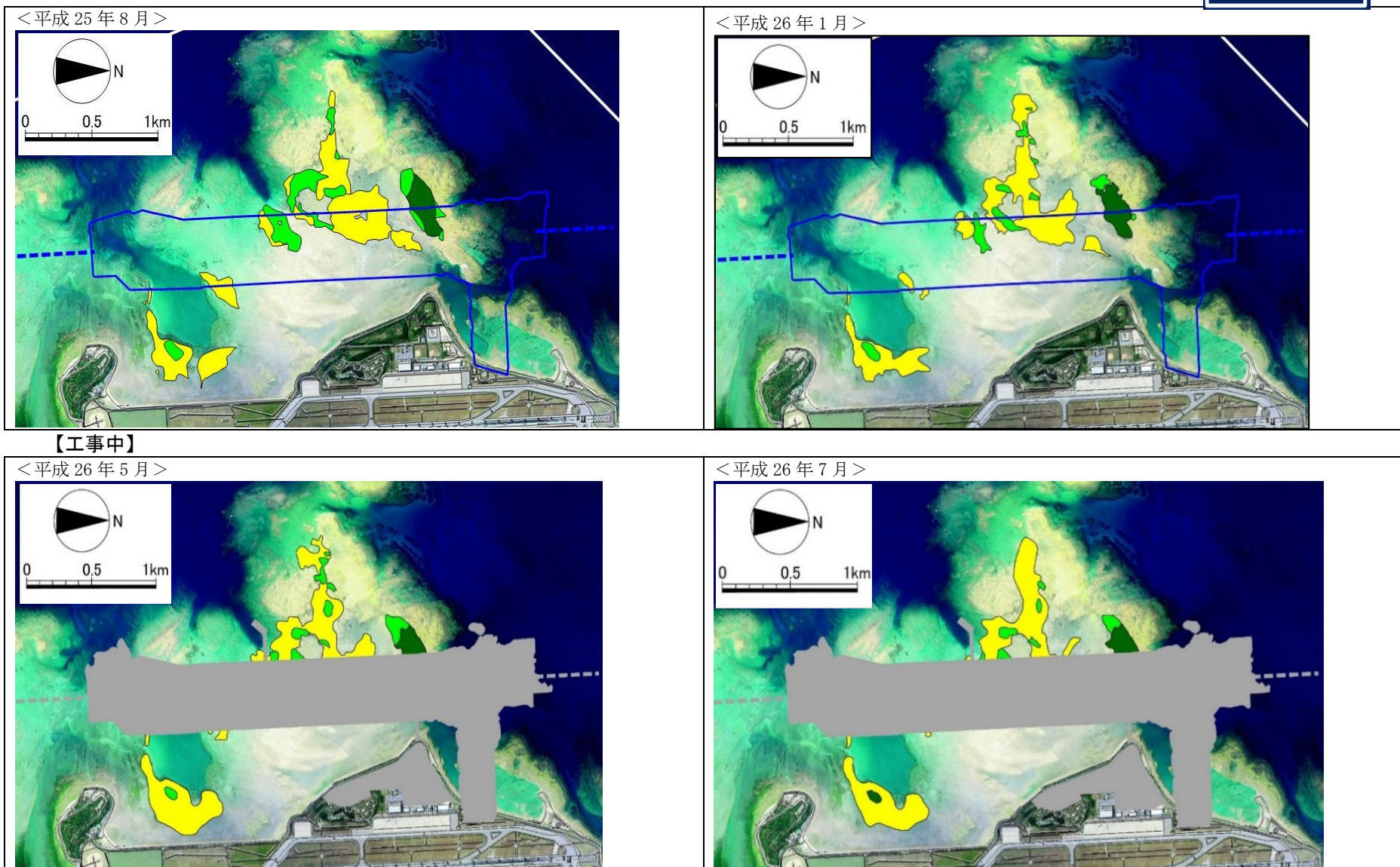
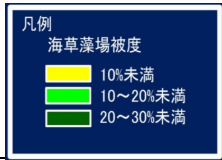


図 29 (3) 海草藻場の分布状況の経年変化

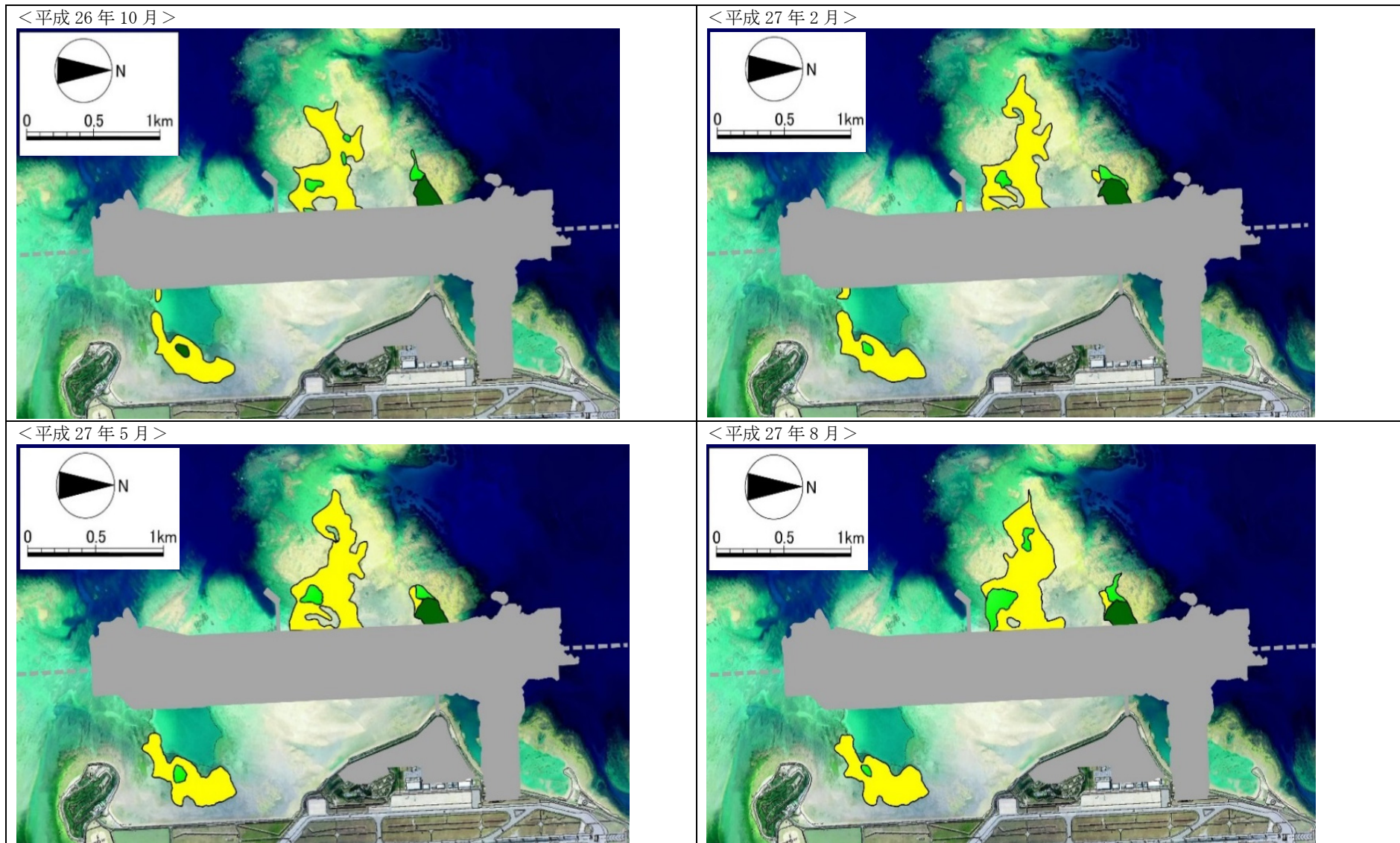
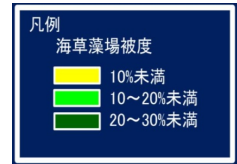


図 29 (4) 海草藻場の分布状況の経年変化

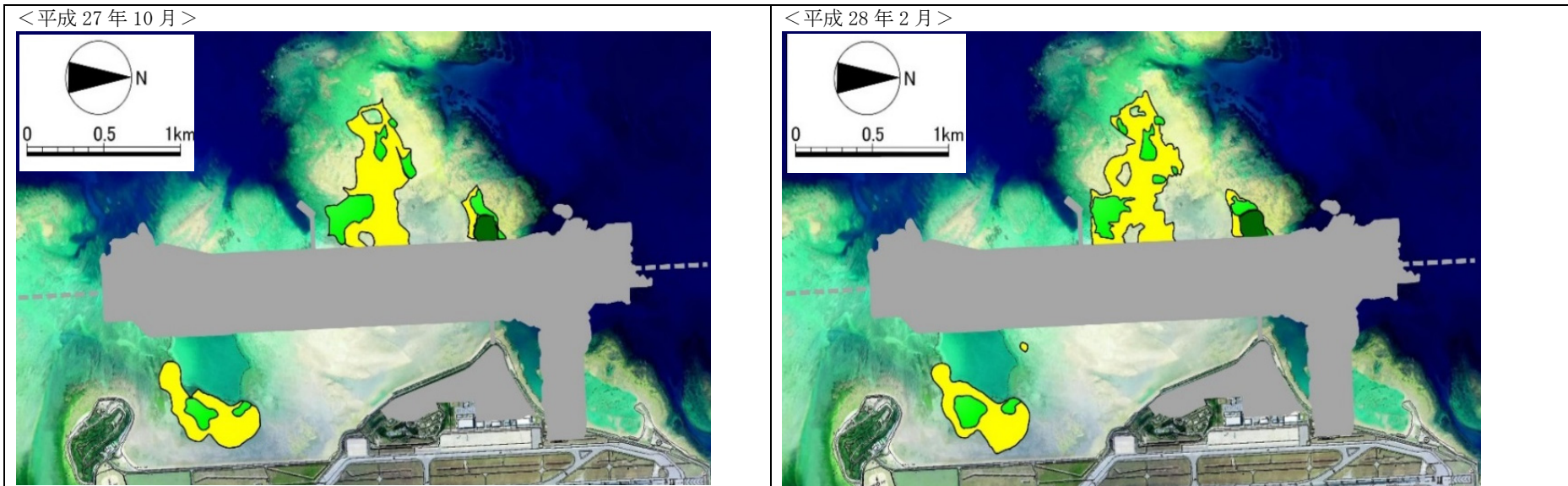
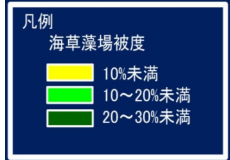
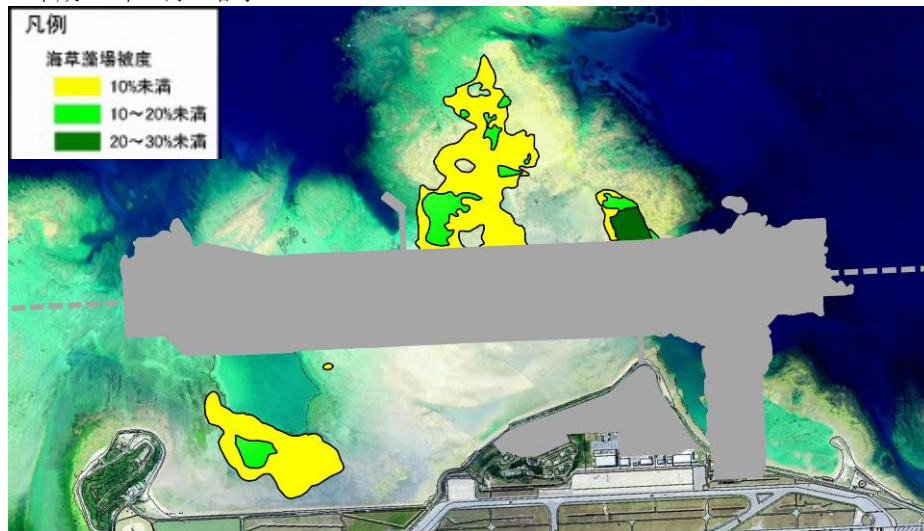
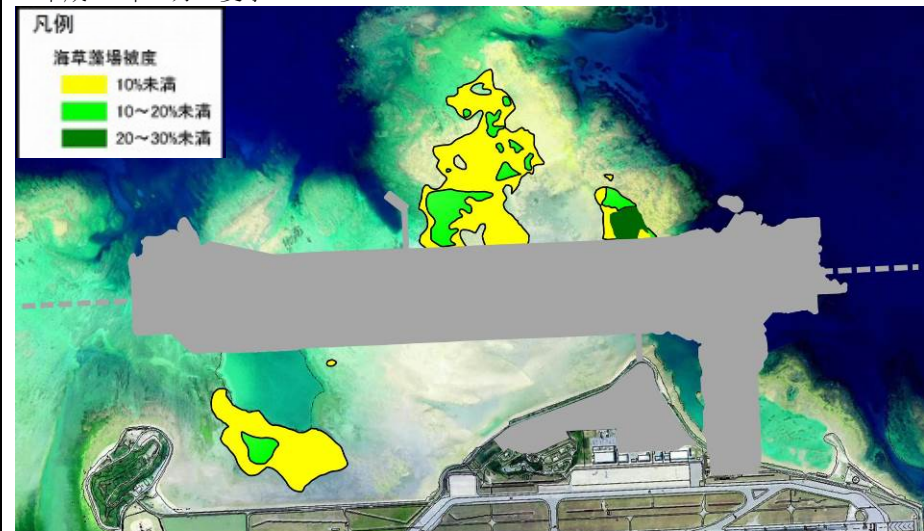


図 29 (5) 海草藻場の分布状況の経年変化

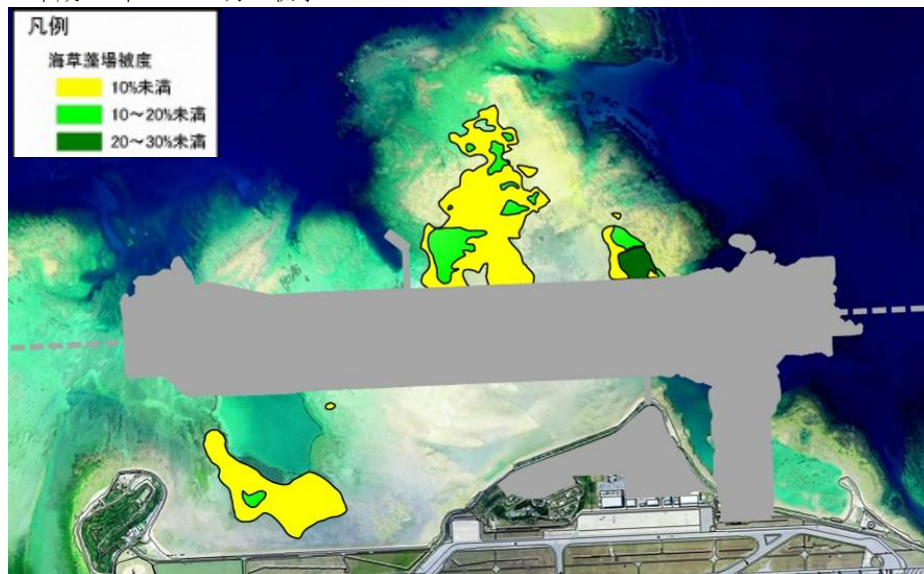
<平成 28 年 5 月 春季>



<平成 28 年 7 月 夏季>



<平成 28 年 10-11 月 秋季>



<平成 29 年 1 月 冬季>

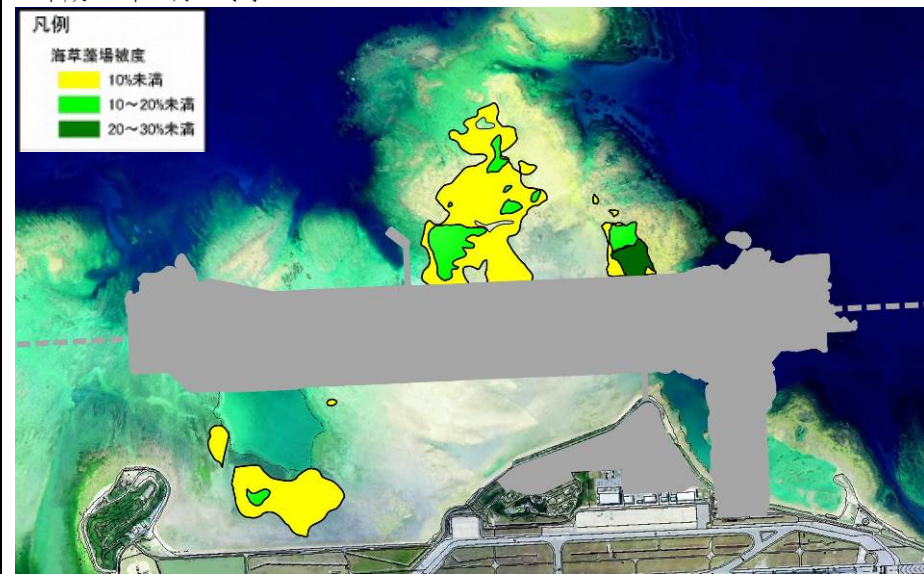


図 29 (6) 海草藻場の分布状況の経年変化

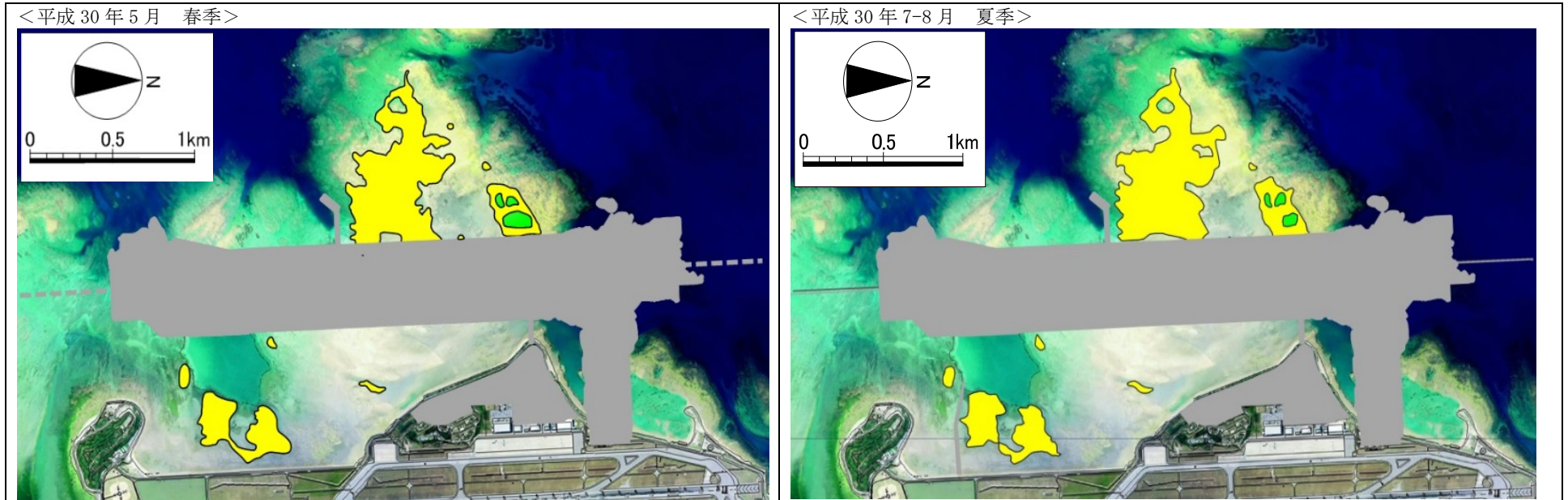


図 29 (7) 海草藻場の分布状況の経年変化

