

資 料 編

1. 海域生物の順応的管理（海草藻場、カサノリ類）に係るこれまでの検討結果

1.1 順応的管理の概要

海草藻場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 那覇空港滑走路増設事業環境監視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）及び第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）及び第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した。
- ・ 第12回委員会（令和元年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13回委員会（令和2年2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14回委員会（令和2年8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15回委員会（令和3年2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16回委員会（令和3年7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17回委員会（令和4年6月）では、これまで実施してきた単年度の結果に係る順応的管理は、他の調査項目と同様、存在時の環境状態等の解析に移行した。

1.3.1 海草藻場についての意見

委員会における海草藻場の順応的管理に関する意見は表一 1.3.1 に示すとおりである。

表一 1.3.1 (1) 委員会における海草藻場の順応的管理に関する意見

項目	委員意見	対応方針
海草藻場順応的管理の包括的目標について	<p>海草藻場について、閉鎖性海域内における面積及び被度が長期的には減少傾向であることを踏まえると、「維持／増加」という包括的目標の文言は、挑戦的に思える【第1回資料4 p22～33】。</p> <p>海草藻場の包括的目標については、「トレンドを勘案したうえで」等の追記をした方が良い【第1回資料4 p22～33】。</p> <p>引用された文献の図では包括的目標に戻る矢印がないが、包括的目標を変えたほうが良い状況になった時に見直すことができるよう逆向きに矢印を入れておいた方が良い【第1回資料4 p22～33】。</p>	<p>ご指摘を踏まえて海草藻場の包括的目標の文章及び図を修正した。 (第2回資料1p6 参照)</p>
海草藻場の対照区について	自然変動の対照区をどこにとるかについては、よく検討したほうが良い【第1回資料4 p22～33】。	対照区の選定理由及び選定に係る調査結果について整理した。 (第2回資料1p8～10 参照)
その他	大規模な工事を行ったときには、必ず何らかの影響があると考えられる。順応的管理の包括的目標として、高い目標が挙げられているものの、今後は目標を達成できない事態も生じる可能性がある。その際に、事業者が実行可能な範囲も考慮しながら合理的な目標を設定することも必要と考える【第6回資料5】。	平成28年夏には沖合の護岸工事が完了し、閉鎖性海域において今後影響が出てくると考えられるため、第8回委員会では、包括的目標に対して検討していきたい。
レベルの判断	海草藻場、カサノリ類の置かれた監視レベル(安全レベル、注意レベル、対策検討レベル)を今判断するのは難しい状態にある。委員会での指摘を踏まえた上で今後も調査の継続を求める【第8回資料6】。	カサノリ類の生育基盤の比較実験の改善策(案)等の提案内容も含めて調査を継続していく。

出典：「那覇空港滑走路増設事業に係る報告書」(令和3年6月、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局)

表ー 1.3.1 (2) 委員会における海草藻場の順応的管理に関する意見

項目	委員意見	対応方針
海域生物の順応的管理 (海草藻場)	p3 注意レベルの目安の確認として、分布面積は維持しており、注意レベルではないが、被度が低下しているため、慎重に調査をしたいと考えているということでしょうか。これについては委員会で同意する必要があると思うが、私は問題がないと考えている【第11回資料4】。	安全レベルであると考えているが、定点調査において被度の回復がみられていないということで、モニタリングの強化として追加調査を行っている。 注意レベルかどうかを判断するための材料として、今回資料4において、評価書時の影響フロー図等を用いて事業による影響かどうか検討した(第12回資料4p18~25)。
	p7 閉鎖性海域内で埋在生物が多く確認されているとのことだが、改変区域西側海域や対照区ではどのような状況か。また、埋在生物が増加した影響で海草藻場が減少した場合、それぞれをどのように評価するのかについても検討してほしい【第11回資料4】。	モニタリングの強化の一環として、過年度のデータはないが、埋在生物の生息孔の数も調査していきたいと考えている。 埋在生物の生息孔の数については、改変区域西側及び閉鎖性海域の定点で平成29年度冬季から調査を実施しており、改変区域西側と比較すると閉鎖性海域の方が多い結果となっており、調査を継続し、検討していく(第12回資料4p26)。
	回復力の指標として、地下茎の伸長スピードが重要である【第11回資料4】。	平成30年度に地下茎調査を実施した(第12回資料4p95~99)
	平成29年度冬季には、改変区域西側及び対照区で被度が低下し、平成30年度夏季には、対照区では被度が回復しているが、改変区域西側海域では回復していない。台風だけが理由ではないと考えられることから、今後も注視してほしい。また、地下茎が黒くなっているということだったが、底質の酸化還元電位を計測してはどうか【第11回資料4】。	酸化還元電位の計測については、令和元年度以降、調査を実施した(第14回資料4p24, 25)。 改変区域西側と対照区の台風以外の違いについては、事業の影響の有無について検討し、必要に応じて追加調査を行う際には、閉鎖性海域だけでなく、改変区域西側と対照区で違いにも留意する。
海域生物の順応的管理 (海草藻場)	注意レベルの目安として、分布域を目安としているが、構成種数が減少していることについても留意してほしい。ウミヒルモ等の光合成活性が低い種が最初に消失してしまっている可能性がある。近傍に生育している光合成活性が低い種についてもDivingPAMによる光合成活性の調査を行い、文献の値と比較してはどうか【第11回資料4】。	構成種は、St. S3ではオオウミヒルモ、コアマモ、リュウキュウアマモ、ボウバアマモが減少し、平成30年度秋季にはリュウキュウスガモが確認されなかった。St. S6では、ウミヒルモ、オオウミヒルモ、ウミジグサ、マツバウミジグサが減少し、リュウキュウスガモは継続して確認されている。リュウキュウスガモ以外の種での光合成活性調査については、今後検討する。

出典：「那覇空港滑走路増設事業に係る報告書」(令和3年6月、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局)

表－1.3.1 (3) 委員会における海草藻場の順応的管理に関する意見

項目	委員意見	対応方針
	<p>地下茎が露出したり、草体が埋没したりすることは、砂の移動によるものであると考えるが、その原因は検討しているか。</p> <p>写真によるとある程度成長した地下茎が露出している。地下茎がここまで成長するための時間は不明だが、通常は堆積物は安定していたのではないかとも考えられる。このような状態になった理由は今一度解析されるとよい【第11回資料4】。</p>	改変区域西側海域では波浪によるものと考えている。閉鎖性海域については、埋在生物の活動や波浪が影響していると考えているが、現段階では推察にすぎず、今後も検討していく。
	<p>海草の葉の枯死は、夏場は干潮時に底質が干上がり、葉が高温に晒されるため、冬場は寒さに晒されるためだと考えられるが、そのことを検証してはどうか。</p> <p>また、タイドプール内は海草の生育に適した環境であるように思う。人工的にタイドプールをつくり、生育試験を実施してはどうか【第11回資料4】。</p>	調査方法の詳細について今後相談し、検討していくこととする（第12回資料4p26）。
	<p>小型海草について、地下茎は表層近くにしかなく、台風等で一遍に飛んでしまうものや、すぐ生えてくるものもあるため、種別に表現してはどうか。また、波浪による浸食がどのように広がっていくのか、どのような藻類が葉上に付着しているのか等、もう少し詳細な情報も踏まえて検討してはどうか【第12回資料4】。</p>	<p>地下茎を観察する際には、種ごとの違いも留意する。</p> <p>葉上の付着藻類は珪藻類が多いと考えているが、適宜確認する。</p>
	<p>種ごとの分布状況を示してはどうか【第12回資料4】。</p>	<p>海草藻場の分布調査では種ごとの分布状況を把握していない。</p> <p>過年度の状況については、海草藻場底質調査において、大型海草と小型海草の有無を記録している（第13回資料1p30）。</p>
レベルの判断	第14回委員会において、現段階では安全レベルであるとの承認を得た。	

出典：「那覇空港滑走路増設事業に係る報告書」（令和3年6月、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局）

表－1.3.1 (4) 委員会における海草藻場の順応的管理に関する意見

項目	委員意見	対応方針
レベルの判断	今回の委員会で監視レベルの判断をするのか【第16回資料3】。	今回、順応的管理について調査検討が未了の部分があるため、結果の記載に留めたが、海草藻場の面積が自然変動の範囲であるから安全レベルと判断してよいかご議論いただきたい。
	個人的には安全レベルだが今後も注視していく必要がある【第16回資料3】。	
	海草藻場は安全レベルと考えている【第16回資料3】。	調査検討については、今後も継続し、資料作成にあたっては表現に留意する。
	委員会了承。今後は委員会了承を得る必要があるものについては、分かりやすく表現していただきたい【第16回資料3】。	
その他	アオウミガメによる食害など、地球温暖化に伴う生物的影響はこれまでと別の視点で考えた方が良い【第16回資料3】。	調査手法含め、検討する（新たな取組として水上ドローン調査等を実施した。第18回資料3）。
	海草量という指標は現存量を表しているわけではない。実際の調査で量的にはどういう変化をしているのか情報提供をいただきたい【第16回資料3】。	
	水上ドローンで評価するという方法もある【第16回資料3】。	

出典：第16回委員会議事概要より作成

1.3.2 カサノリ類についての意見

委員会におけるカサノリ類の順応的管理に関する意見は表－1.3.2に示すとおりである。

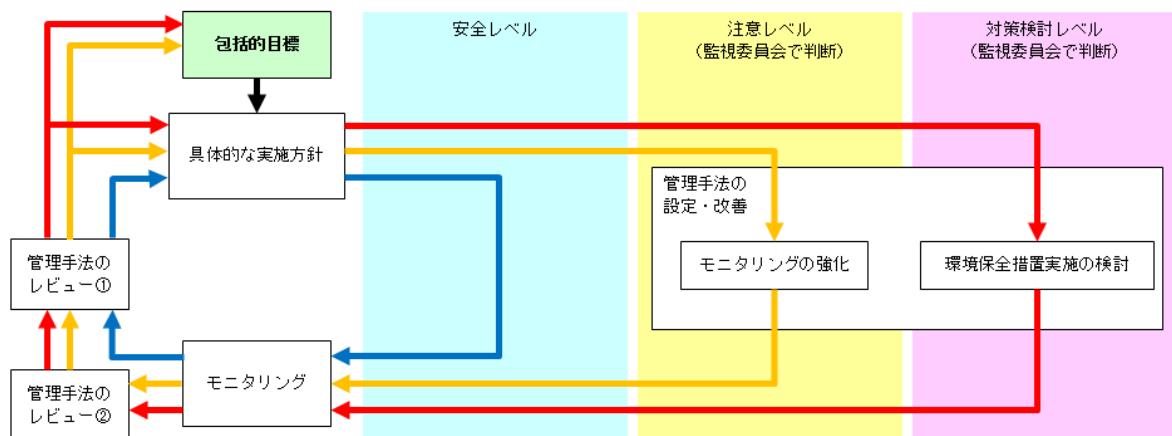
表－1.3.2 委員会におけるカサノリ類の順応的管理に関する意見

項目	委員意見	対応方針
レベルの判断	海草藻場、カサノリ類の置かれた監視レベル(安全レベル、注意レベル、対策検討レベル)を今判断するのは難しい状態にある。委員会での指摘を踏まえた上で今後も調査の継続を求める【第8回資料6】。	カサノリ類の生育基盤の比較実験の改善策(案)等の提案内容も含めて調査を継続していく。
	第14回委員会において、現段階では安全レベルであるとの承認を得た。	

出典：「那覇空港滑走路増設事業に係る報告書」(令和3年6月、内閣府沖縄総合事務局、国土交通省大阪航空局)

1.4 海草藻場の順応的管理

1.4.1 順応的管理の実施フロー



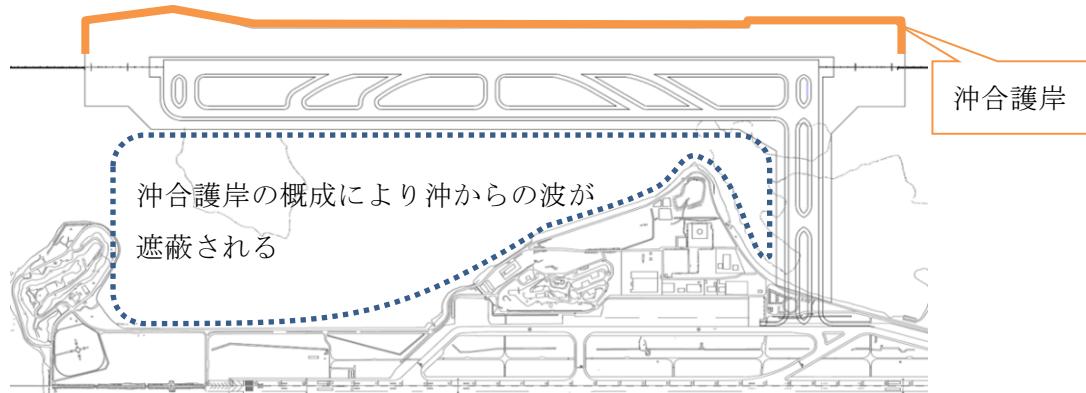
包括的目標	<ul style="list-style-type: none"> 海草藻場については、失われる藻場の面積を念頭に、閉鎖性海域において、護岸概成後に生育環境が向上し、面積もしくは被度が維持／増加することを目標とし、実行可能な順応的管理のもと、生育環境の保全・維持管理を実施する。 順応的管理にあたっては、モニタリングを実施しながら、海草藻場の出現状況の変化に応じた監視レベルを設定し、必要に応じて、環境保全措置を講じることとする。
具体的な実施方針	<ul style="list-style-type: none"> モニタリングを行い、海草藻場構成種の生育状況や生育環境の把握を行う。 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。

図一 1.4.1 本事業における順応的管理の考え方

1.4.2 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。



図一 1.4.2 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。

1.4.3 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。

表ー 1.4.1 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、過年度委員会における指摘を踏まえ、地下茎、光合成活性、酸化還元電位調査を実施した。

表ー 1.4.2 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～令和 4 年度 春季・冬季	閉鎖性海域
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
③海草藻場の光合成活性	<ul style="list-style-type: none"> • 葉の光合成活性 	平成 29 年度秋季～令和 4 年度冬季	改変区域西側、閉鎖性海域、対照区
④底質の酸化還元電位	<ul style="list-style-type: none"> • 底質の酸化還元電位 	令和元年度春季～令和 4 年度冬季	改変区域西側、閉鎖性海域、対照区

1.4.4 調査結果

(1) 分布調査（事業実施区域）

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。

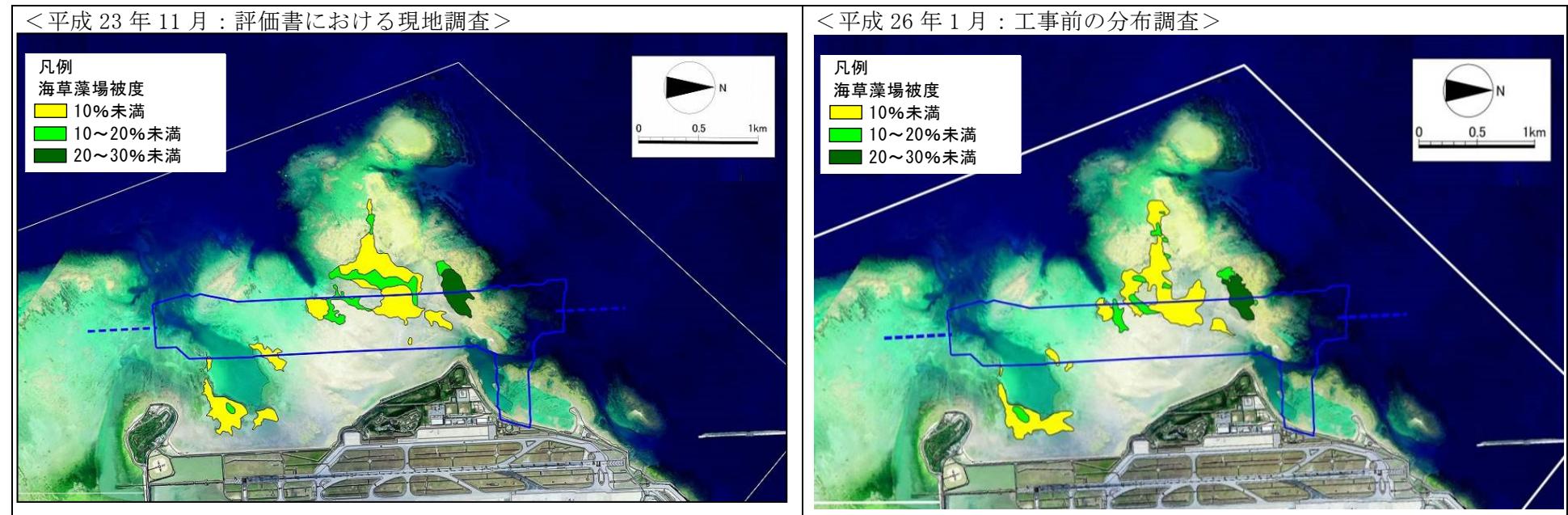


図- 1.4.3 工事前における海草藻場の分布調査結果

表- 1.4.3 海草藻場の追加モニタリング概要

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

2) 環境監視調査

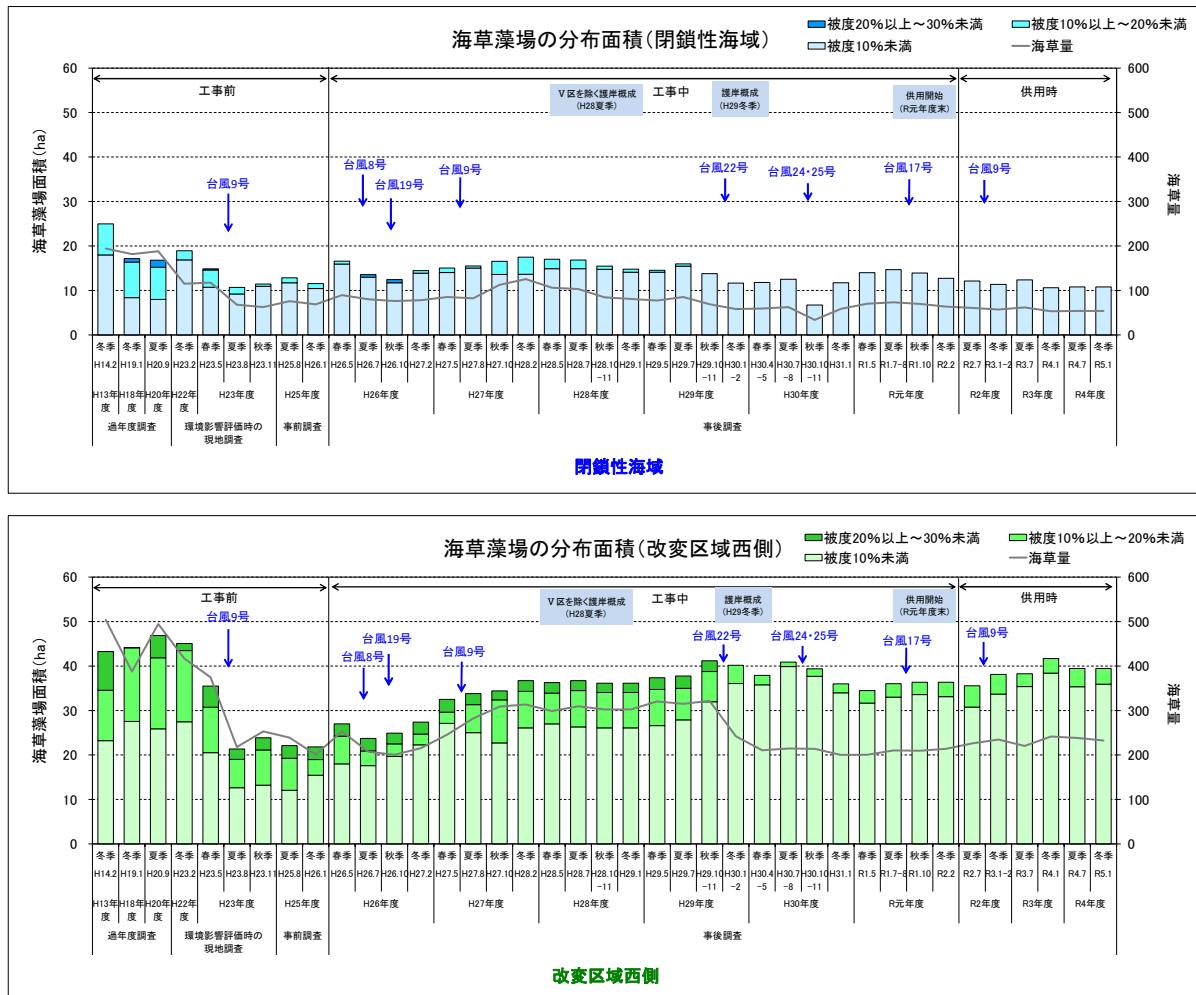
<閉鎖性海域>

閉鎖性海域における海草藻場の分布面積は、工事中は 6.7～17.4ha、供用時は 10.6～12.3ha であり、平成 30 年度秋季を除き、概ね工事前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%以上の区域は平成 28 年度春季以降生育被度が低下傾向になり、平成 29 年度秋季以降は被度 10%未満の区域のみであった。

閉鎖性海域では、改変区域西側で主な藻場の構成種となっているリュウキュウスガモが少なく、マツバウミジグサ等の小型海草が主体の藻場が多かった。小型海草は消長が大きく、分布域の変動が大きい傾向がみられる。また、平成 28 年度以降、葉枯れや埋在生物の生息孔や塚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主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の St. S3, S4 で確認されている。

<改変区域西側>

改変区域西側における海草藻場の分布面積は、工事中は 23.7～41.2ha、供用時は 35.6～41.7ha であり、概ね工事前の変動範囲内であった。被度別の面積をみると、平成 29 年度冬季に生育被度が低下し、被度 10～20%未満の面積が減少、被度 20～30%未満の区域がみられなくなった。被度の回復が進まない要因として、台風による洗堀・砂の堆積や冬季大潮期の夜間干出時に低温・乾燥に曝されること、アオウミガメによる食害等が考えられる。



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。

注：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) : xha、

10%以上～20%未満(中間値 15) : yha、

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

注：3. 最大瞬間風速 35m/s 以上 (那覇) が記録された台風を示す。

図一 1.4.4 海草藻場の分布面積の経年変化

<海草量>

- ・ 改変区域西側では海草量が緩やかに増加する傾向であった。
- ・ 閉鎖性海域では海草量に変動はあるものの概ね横ばいであった。
- ・ 対照区では令和3年度に海草量が減少した。これは主に被度低下によるものであり、台風の高波浪等による藻場の流出や降雨・陸水流入等による砂の堆積、アオウミガメによる食害の影響等の要因が考えられる。
- ・ 平成29年度冬季に海草量が減少して以降、海草量の大きな回復はみられない。
- ・ 海草量は改変区域西側では工事前の変動範囲内であった。しかしながら、閉鎖性海域、対照区では工事前の変動範囲を下回っていた。対照区を含む海域で海草量が減少したことから、広域的な自然変動による影響である可能性がある。

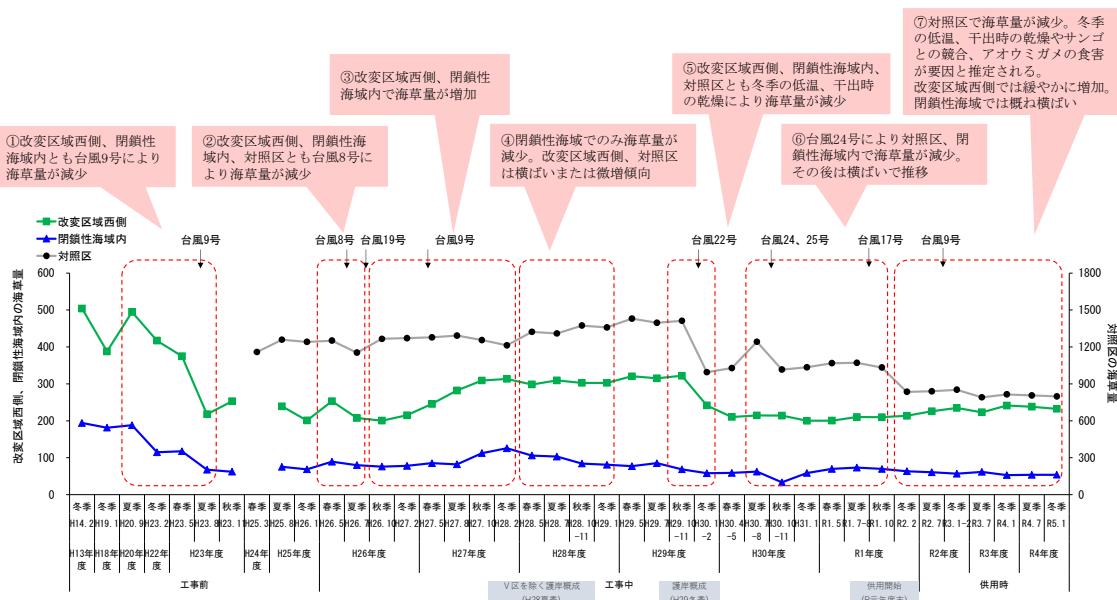
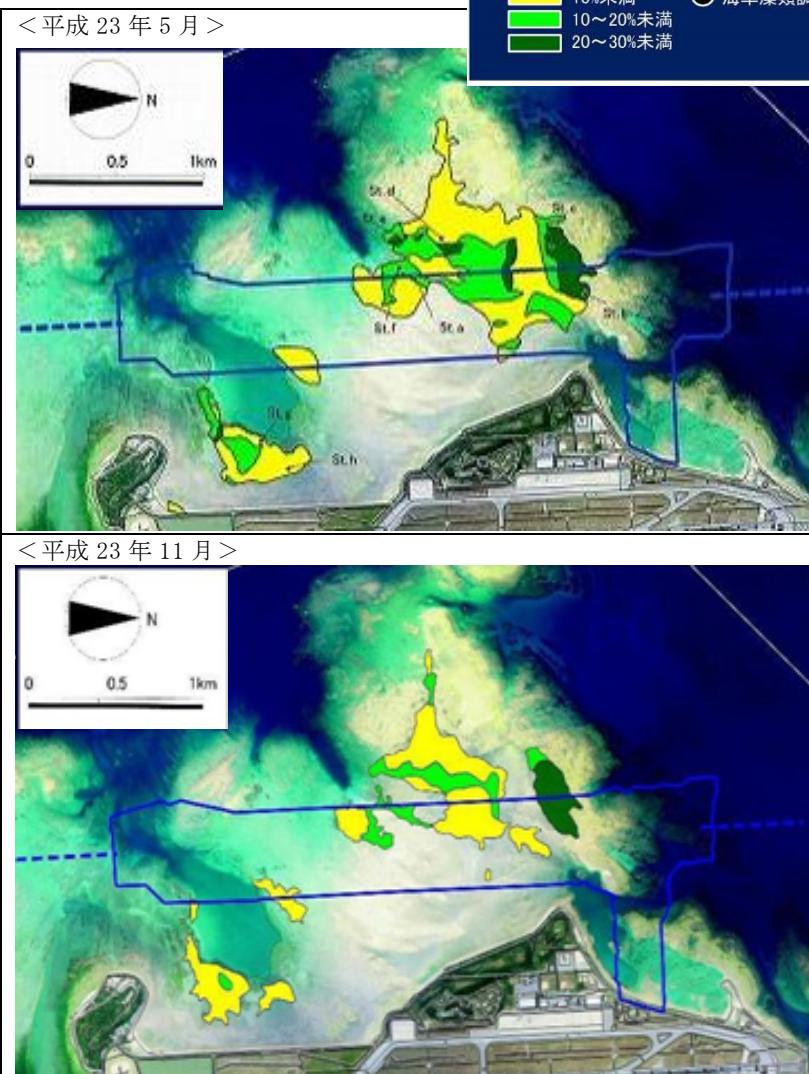
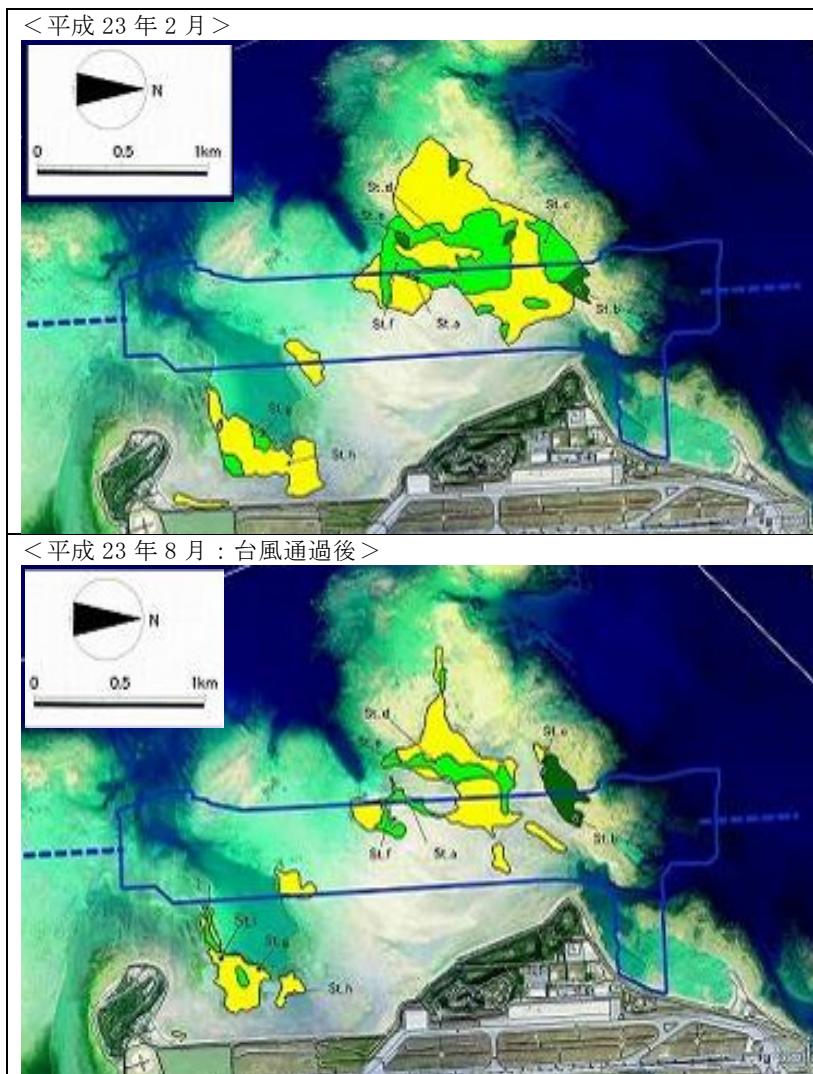
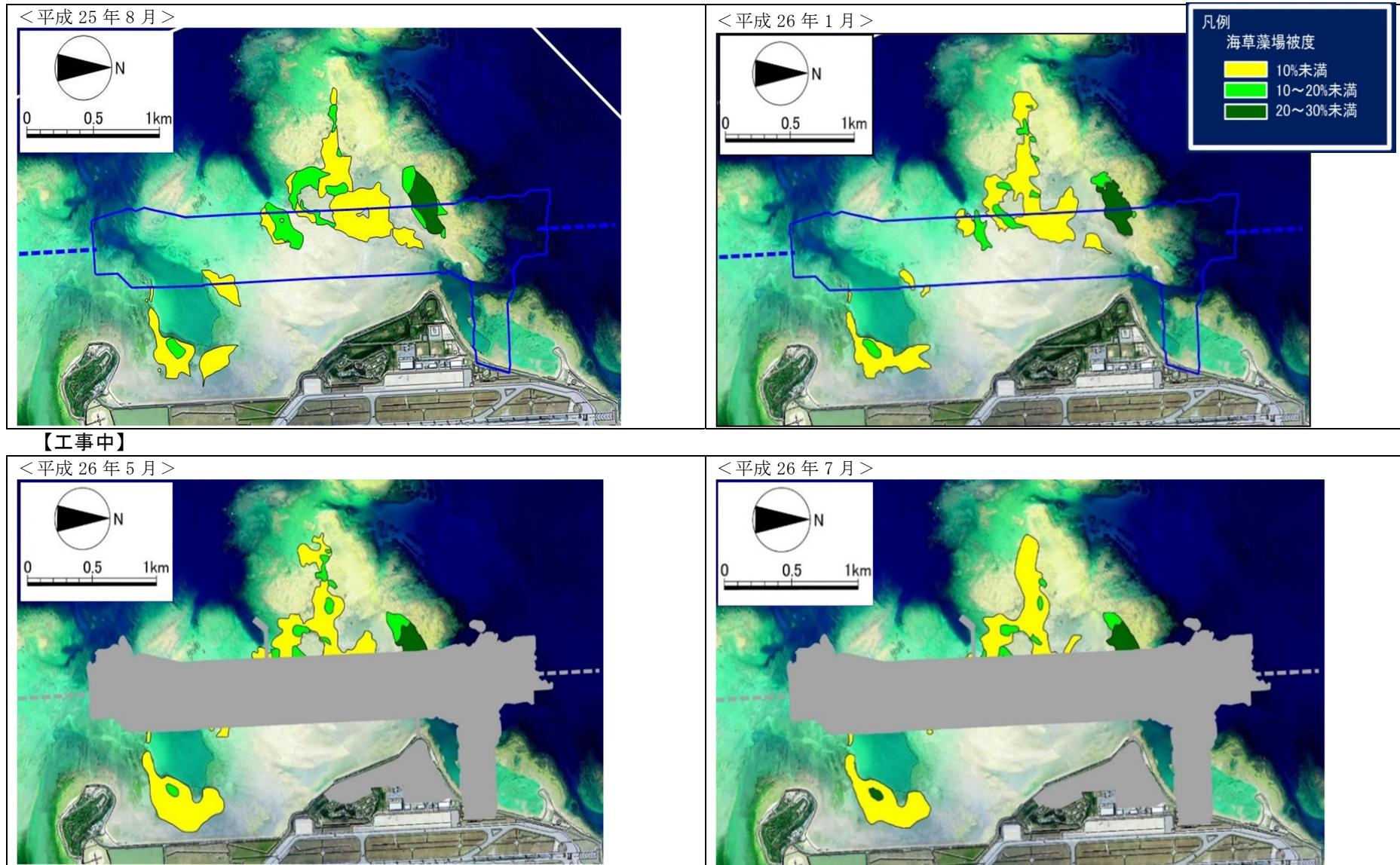


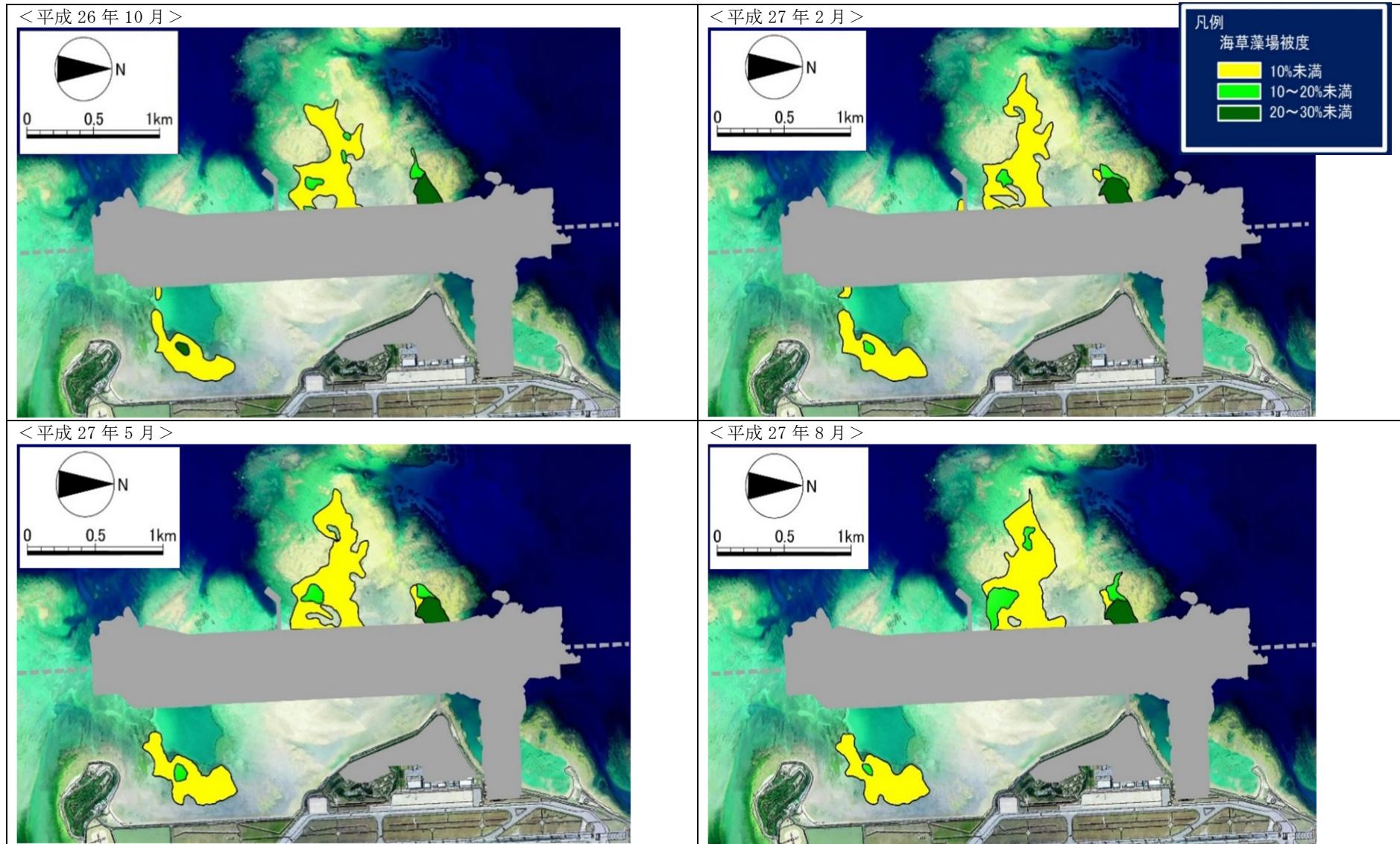
図-1.4.5 海草量の経年変化



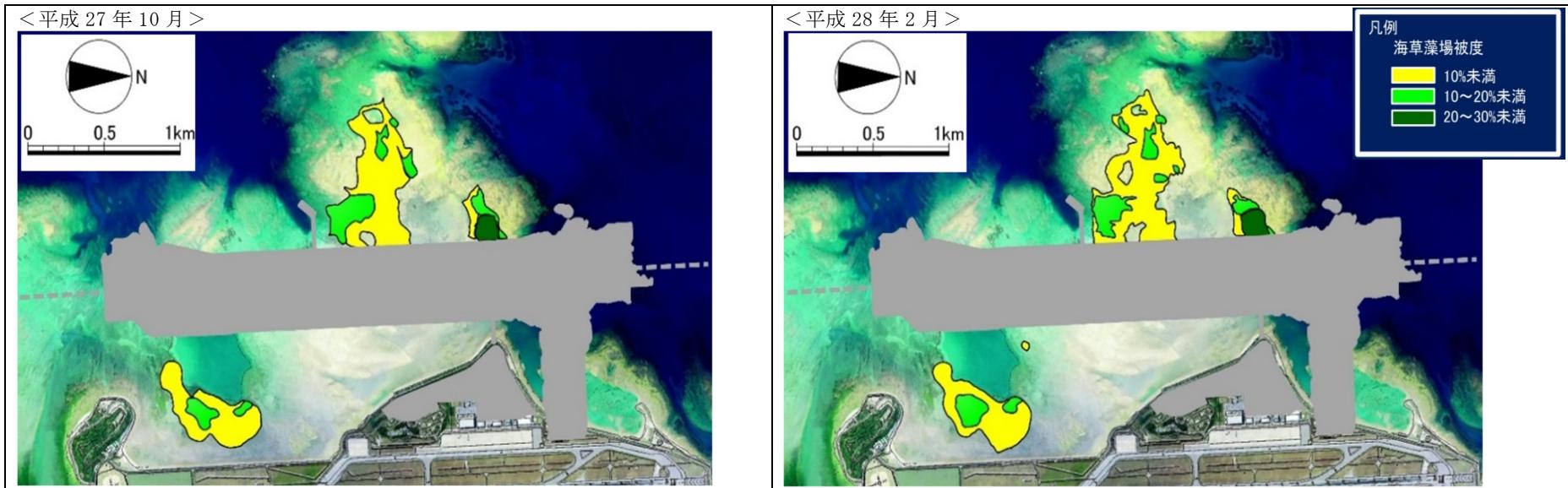
図－ 1.4.6 (1) 海草藻場の分布状況の経年変化



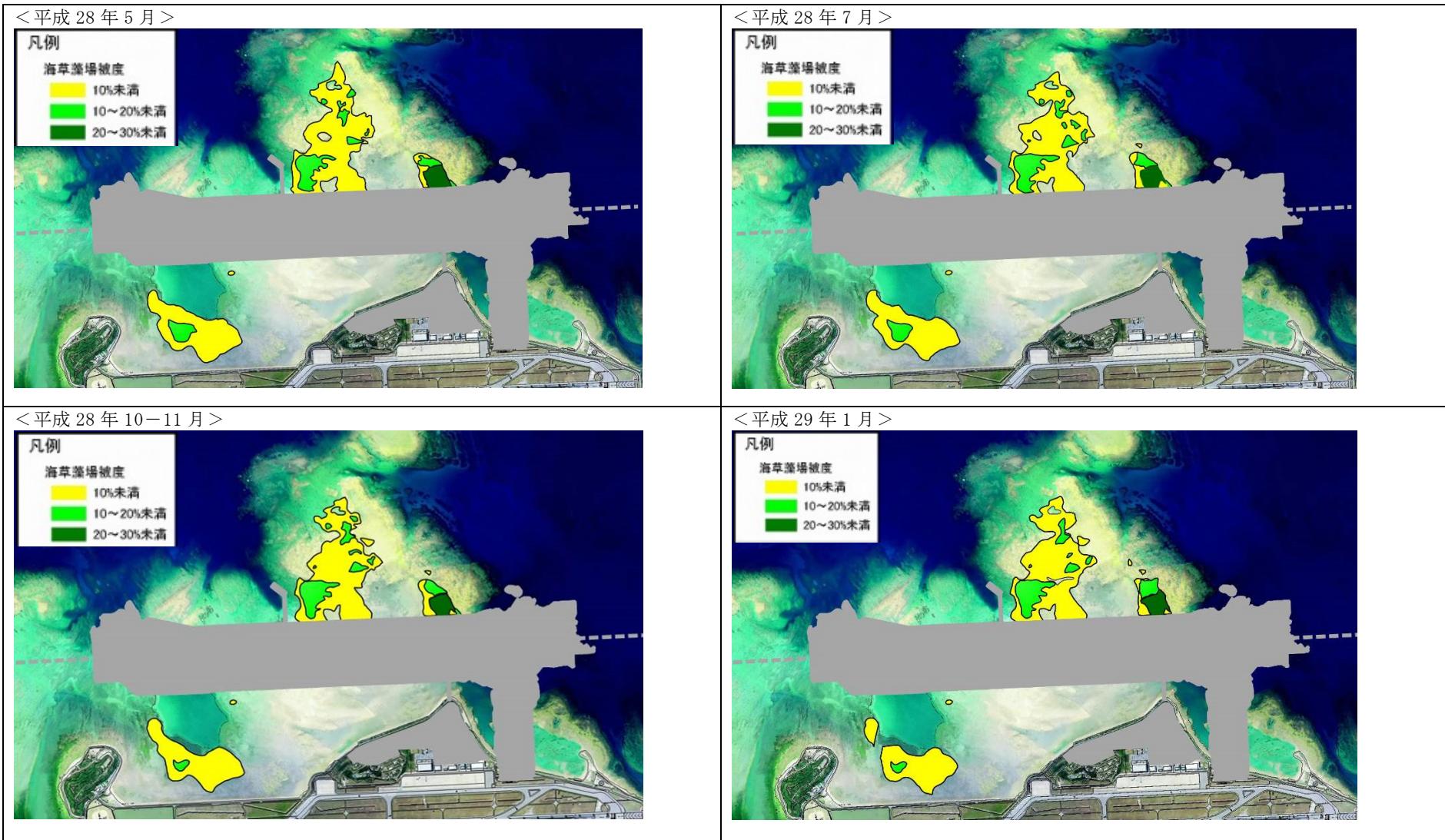
図－ 1.4.6 (2) 海草藻場の分布状況の経年変化



図－1.4.6 (3) 海草藻場の分布状況の経年変化



図－ 1.4.6 (4) 海草藻場の分布状況の経年変化



図一 1.4.6 (5) 海草藻場の分布状況の経年変化

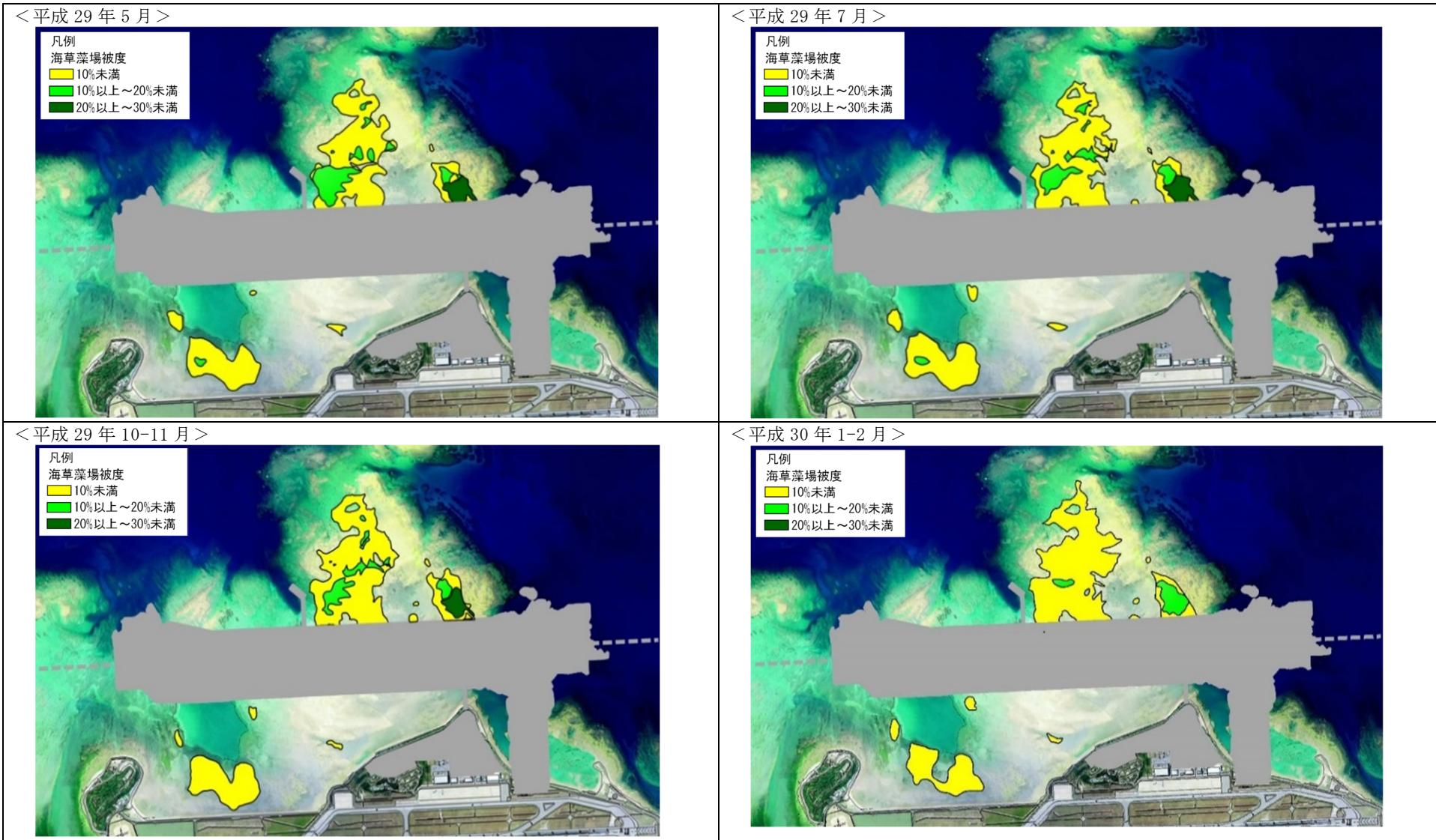


図 - 1.4.6 (6) 海草藻場の分布状況の経年変化

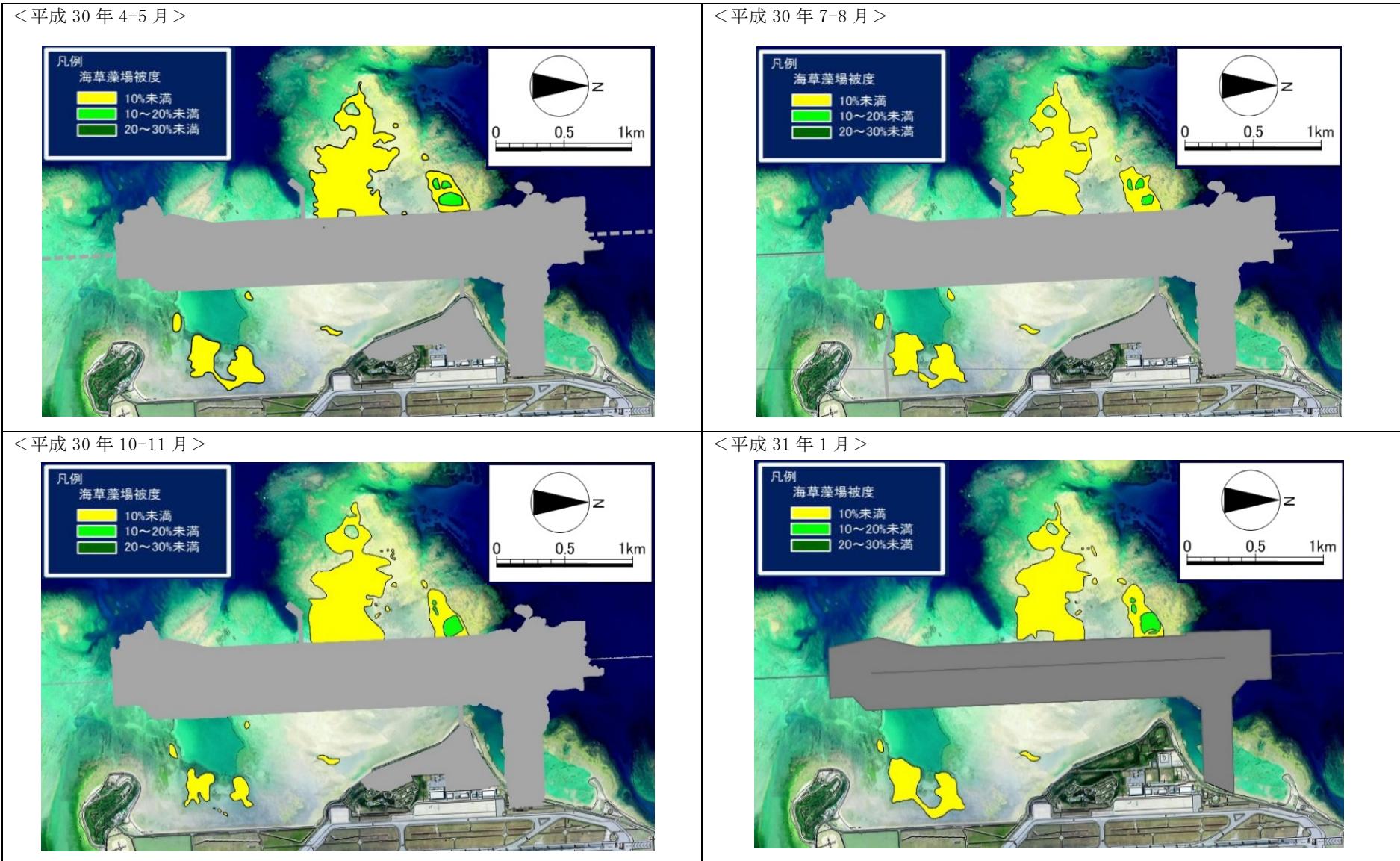
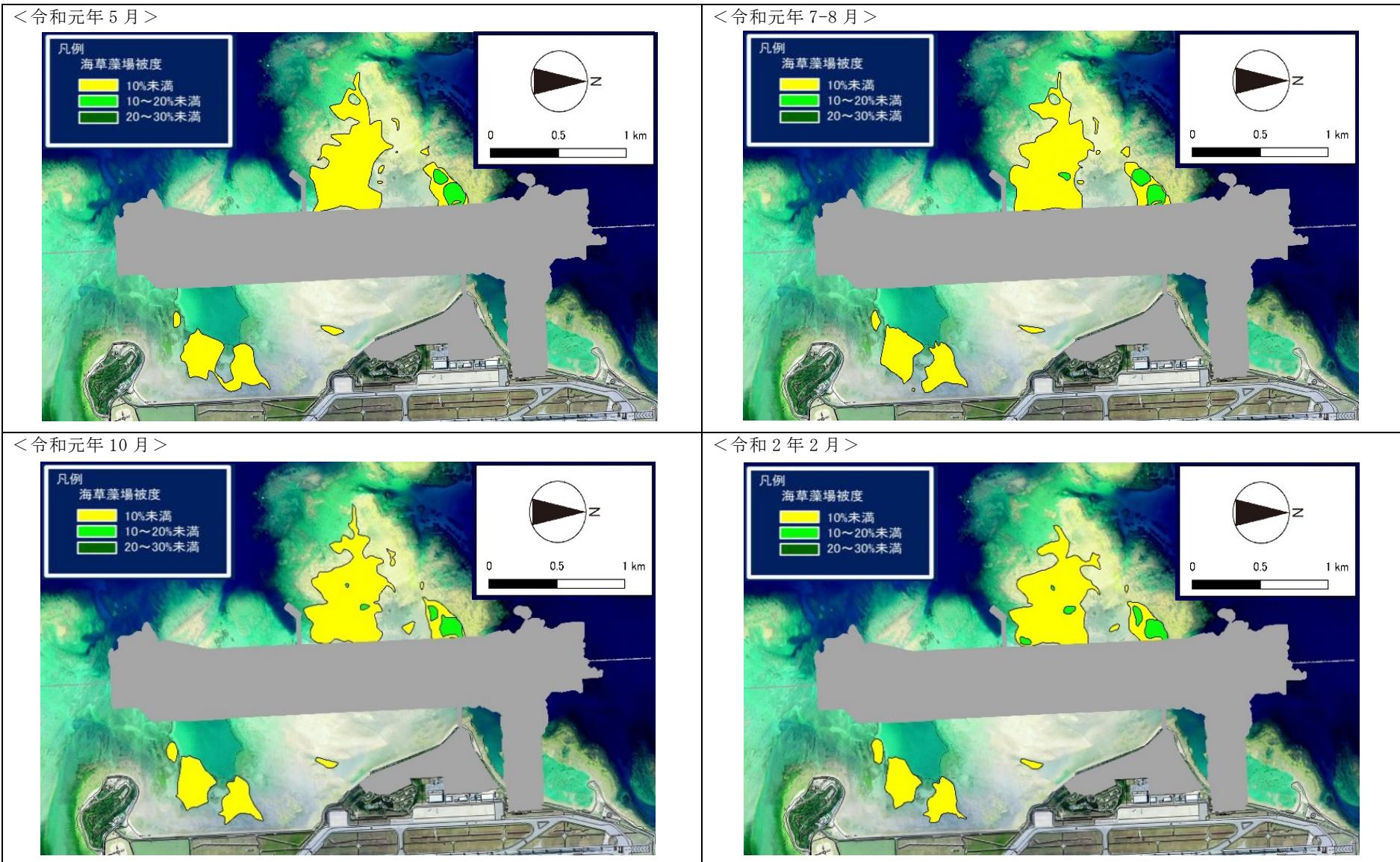
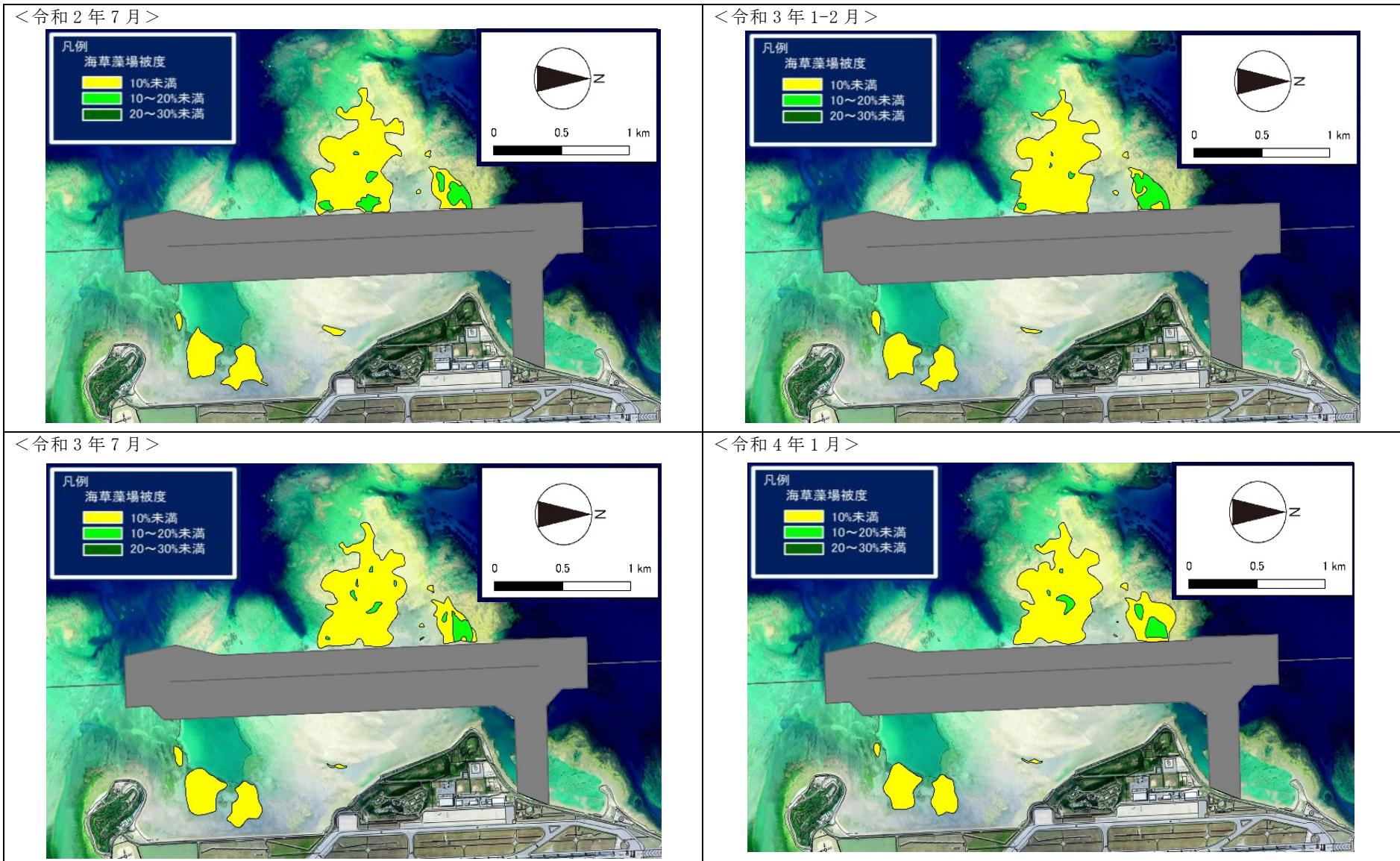


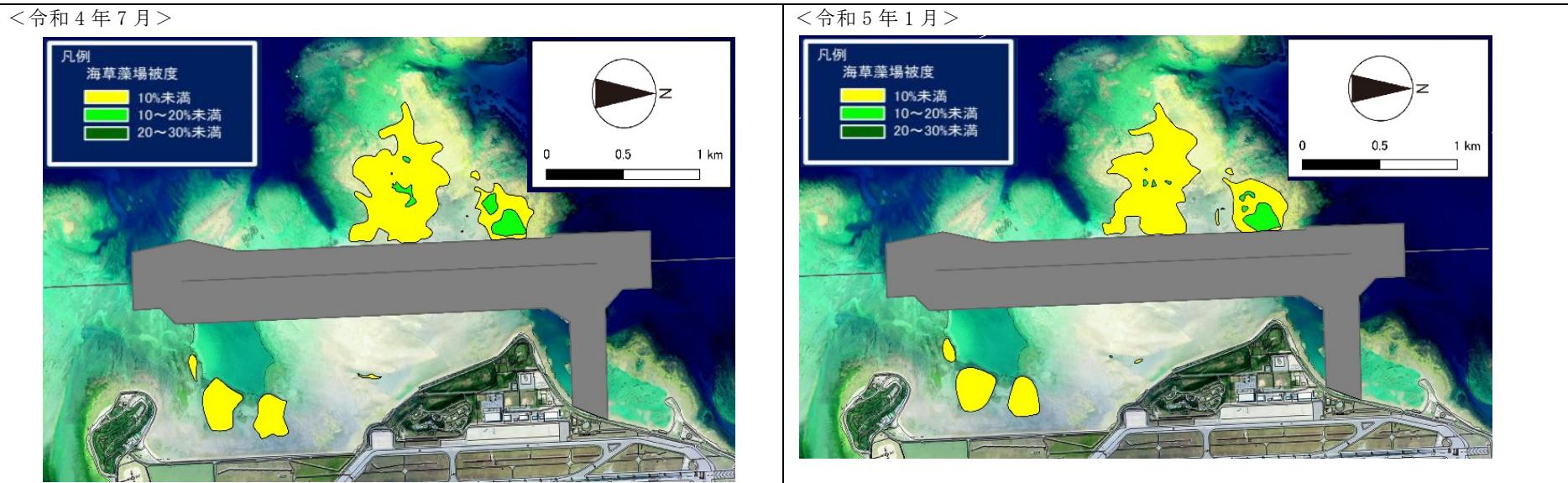
図- 1.4.6 (7) 海草藻場の分布状況の経年変化



図－1.4.6 (8) 海草藻場の分布状況の経年変化



図－ 1.4.6 (9) 海草藻場の分布状況の経年変化



図一 1.4.6 (10) 海草藻場の分布状況の経年変化

3) 「中心部」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「中心部」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。調査結果と工事前に実施した調査全てで確認された海草藻場との比較を示す。

注：「中心部」とは工事前の調査全てで海草藻場が分布していた範囲を示す。

<閉鎖性海域>

工事前の全ての調査で海草藻場が確認された分布の「中心部」のほとんどで継続して海草藻場が確認された。

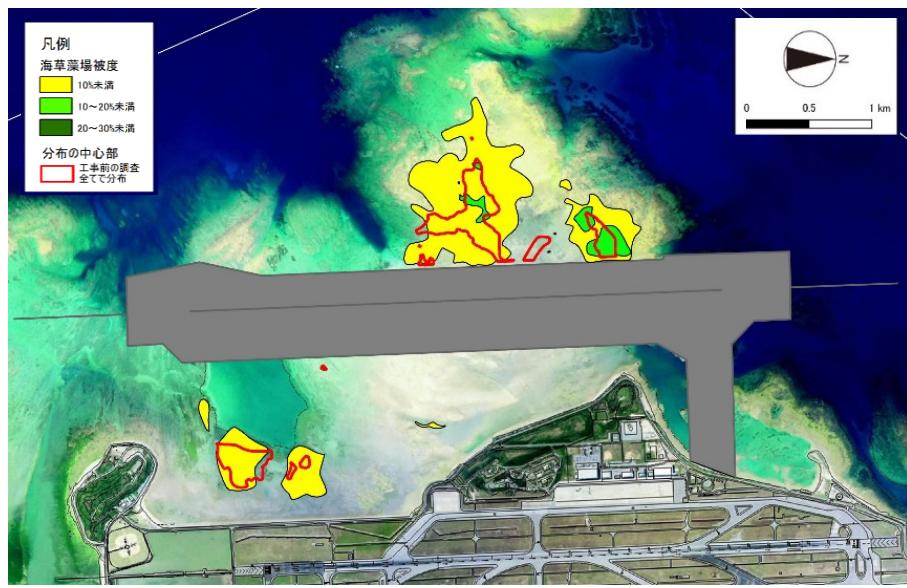
被度 10%以上の比較的高被度な区域の面積は昨年度に引き続き、工事前の変動範囲を下回った。平成 28 年度以降、葉枯れや埋在生物の生息孔により生じた海底起伏による海草の地下茎露出や埋没が主因と考えられる被度の低下が確認されている。こうした埋在生物の生息孔は一般に、細砂が多い箇所に形成されやすい。

閉鎖性海域内では改変区域西側や対照区と比較して底質に細砂が多い傾向がみられた。瀬長島北側の深場にシルト分が多いことや、伊良波排水路から侵入した細粒分等が滞留・堆積することにより、細砂が多い環境になっていると考えられる。

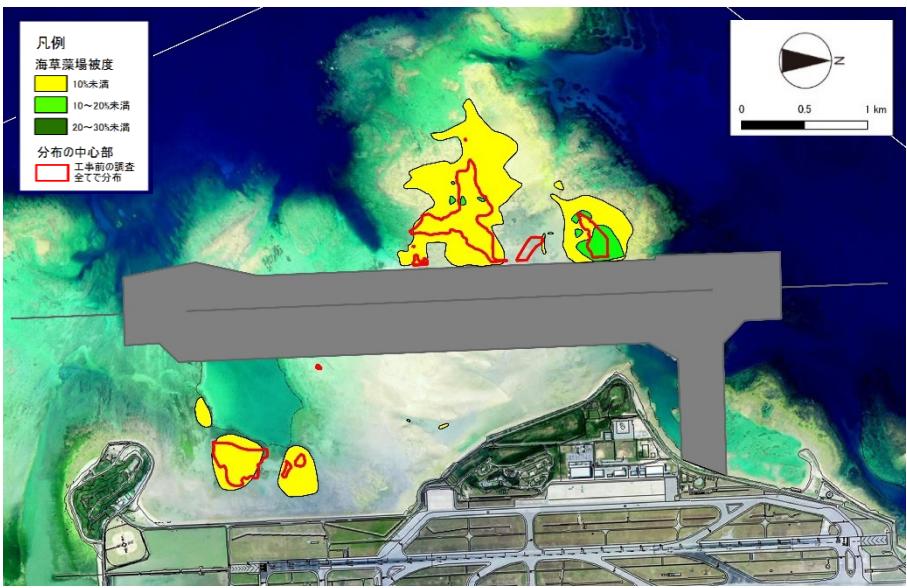
<改変区域西側>

工事前の全ての調査で海草藻場が確認された分布の「中心部」のほとんどで継続して海草藻場が確認された。被度は昨年度より増加したものの、被度の高い分布域（被度 10%以上）の面積は、平成 29 年度冬季以降は工事前の変動範囲を下回る状況が続いている。被度が工事前を下回る状況は対照区でも確認されており、自然変動による影響と推定される。改変区域西側ではアオウミガメによる食害が生じていると考えられ、被度回復が進まない一因になっている可能性がある。平成 23 年に台風により藻場が流出した箇所では、低被度のパッチ状の藻場が確認され、海草藻場が回復する兆しがみられた。

<令和4年7月 夏季>



<令和5年1月 冬季>



注：「中心部」とは工事前の調査全てで海草藻場が分布していた範囲を示す。

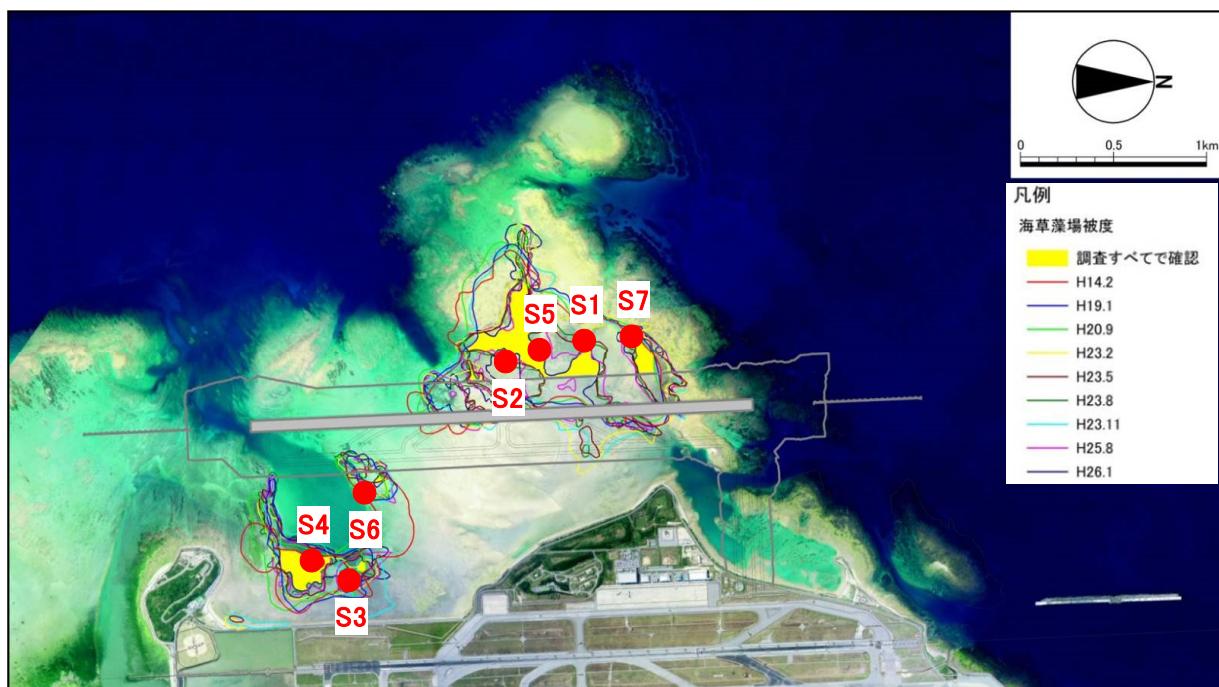
図－1.4.7 海草藻場と分布の中心部との比較

(2) 定点調査

1) 藻場構成種及び被度の経年変化

(ア) 定点調査

海草藻場の事後調査は、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 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－ 1.4.8 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 28 年度秋季に、St. S3、S4、S5 で、被度が工事前の変動範囲を下回り、その後変化はみられていない。

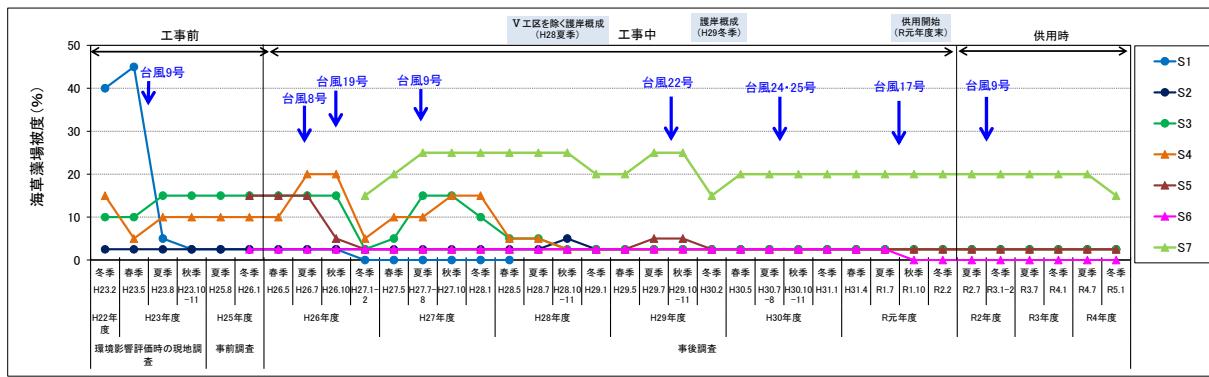
St. S6 では調査開始時より被度 5%未満と低被度であったが、令和元年度秋季に消失した。なお、調査枠の近傍ではリュウキュウスガモの小群落が確認されている。

過年度より葉枯れや、埋在生物の生息孔や塚の形成に伴う海底起伏による流出・埋没がみられている。

令和 4 年度の調査結果は、被度が工事前の変動範囲を下回っているものの、閉鎖性海域だけでなく、改変区域西側でも被度の回復がみられておらず、また、分布面積は工事前の変動範囲であることから、事業による大きな影響はないと考えられる。

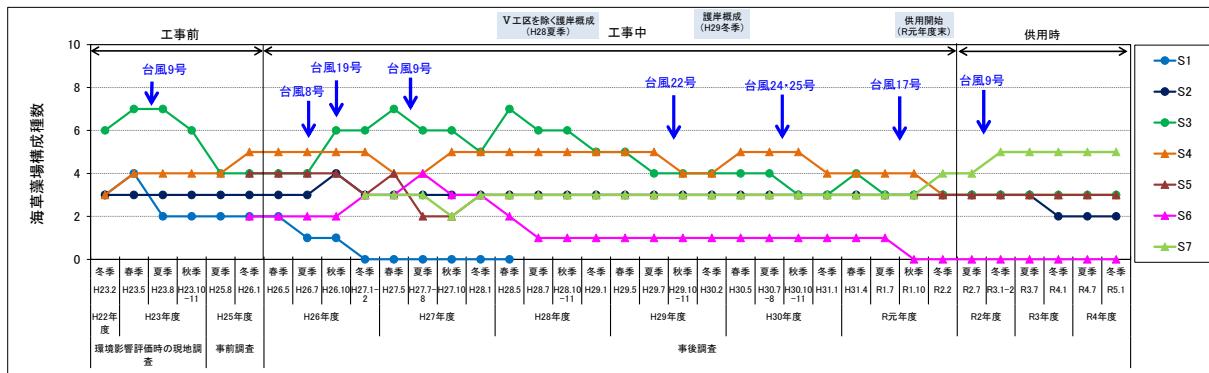
表一 1.4.4 定点調査における過年度からの調査結果概要

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 ~5%	2~4	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。 付着藻類の多い時期がみられる。
	S5	5%未満 ~15%	2~4	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。 葉上への浮泥の堆積や藻類の付着は比較的少ない。
	S7	15~25%	3~5	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。 葉上への浮泥の堆積や藻類の付着は比較的少ない。
閉 鎖 性 海 域	S3	5%未満 ~15%	3~7	リュウキュウスガモ マツバウミジグサ	葉枯れの多い時期がみられる。 葉上への浮泥の堆積や藻類の付着がみられる。
	S4	5%未満 ~20%	3~5	リュウキュウスガモ	葉枯れの多い時期がみられる 葉上への浮泥の堆積や藻類の付着がみられる。
	S6	0~5%未 満	0~4	特になし	調査開始当初から 5%未満と被度が低く、令和元年度秋季以降海草が確認されていない。 葉枯れの多い時期がみられる。 葉上への浮泥の堆積や藻類の付着がみられる。



注：最大瞬間風速35m/s以上（那覇）が記録された台風を示す。

図-1.4.9 海草藻場被度の経年変化



注：最大瞬間風速35m/s以上（那覇）が記録された台風を示す。

図-1.4.10 海草藻場構成種数の経年変化

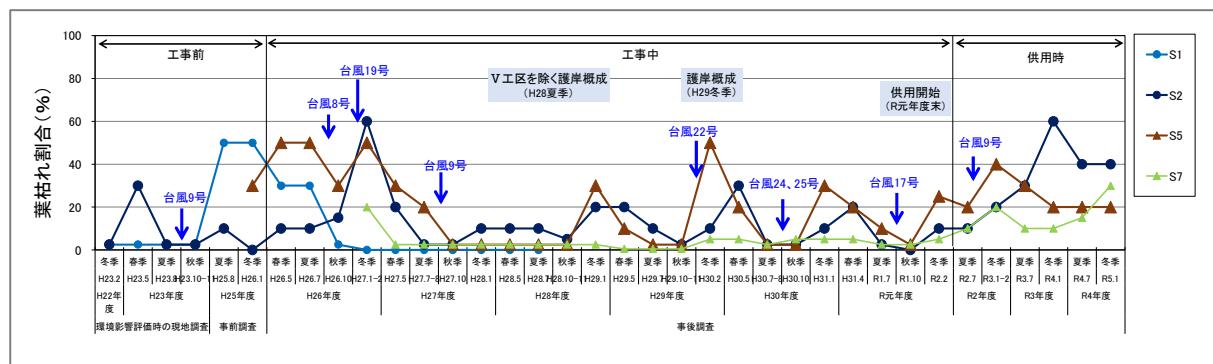
2) 海草藻類（定点）調査の葉枯れ割合の変化

事業実施区域（定点調査地点）における葉上の葉枯れ割合を図－1.4.11に示す。

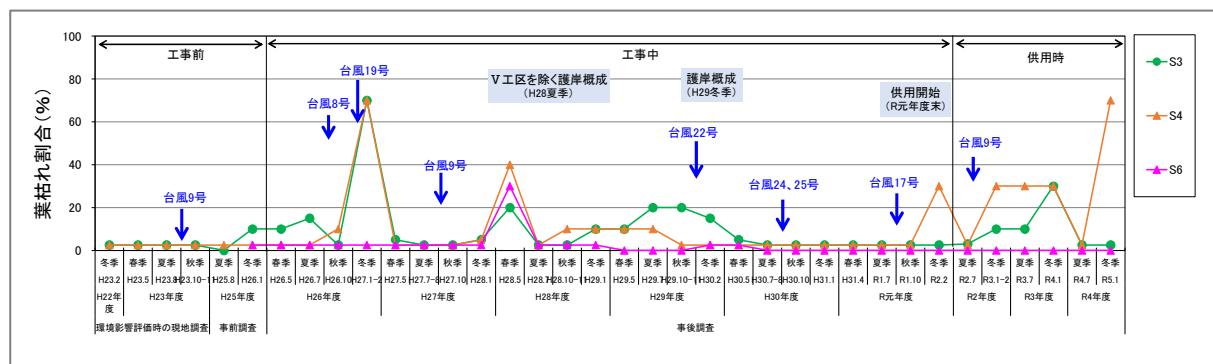
葉枯れについては、改変区域西側では、平成27年度を除き、冬季に比較的葉枯れ割合が高く、St.S2では令和3、4年度は夏季にも葉枯れ割合が高かった。閉鎖性海域では、平成26年度冬季、平成28年度春季、令和元年～4年度冬季に比較的葉枯れ割合が高かつた。

St.S2は改変区域の中で水深が最も浅く、葉枯れが生じやすかったと考えられる。また、閉鎖性海域においても冬季の大潮では夜間に潮位が大きく下がるため、St.S3、S4では冬季に干出による影響が大きくなり、低温や乾燥による葉枯れが生じたと考えられる。

【改変区域西側海域】



【閉鎖性海域】



- 注：1. 「葉枯れ割合」は、コドラー（5m×5m）内の海草の葉に占める葉枯れしている割合を示す。
2. 最大瞬間風速35m/s以上（那覇）が記録された台風を示す。

図－1.4.11 事業実施区域（定点調査地点）における葉枯れ割合

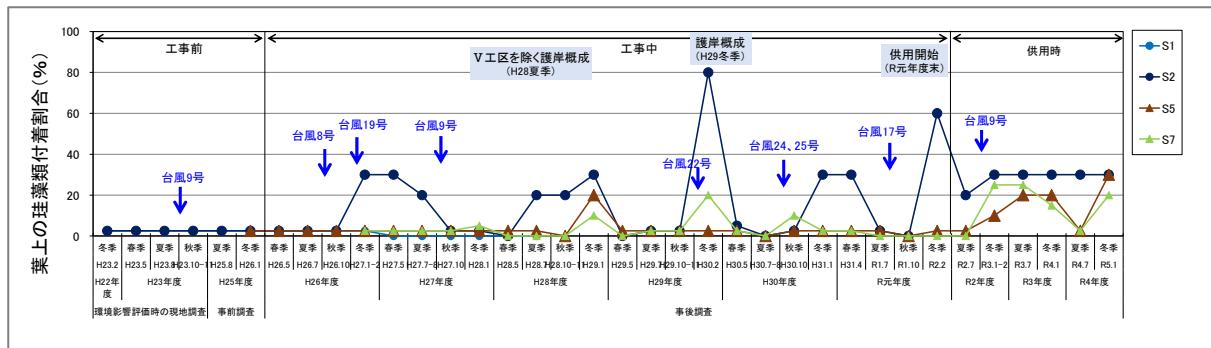
3) 海草藻類（定点）調査の付着藻類の変化

事業実施区域（定点調査地点）における葉上の藻類付着状況を図一 1.4.12 に示す。

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、閉鎖性海域では、夏季に高い傾向がみられた。

付着藻類について、閉鎖性海域における葉上への藍藻類の付着割合が改変区域西側と比較して高く、特に St. S4 では付着割合が 80% と他地点より高かった。葉上への藻類付着は、一般に波浪の影響が少ない内湾域で多く、これまでも改変区域西側より閉鎖性海域において付着割合が高い傾向がみられている。付着藻類が多くなることで葉に到達する光が少なくなり、海草の光合成量が低下する懸念があるが、現状では藻類付着箇所における葉枯れはみられず、付着藻類による影響は明瞭ではなかった。

【改変区域西側海域】



4) 海草藻類（定点）調査の浮泥の堆積及び砂面変動

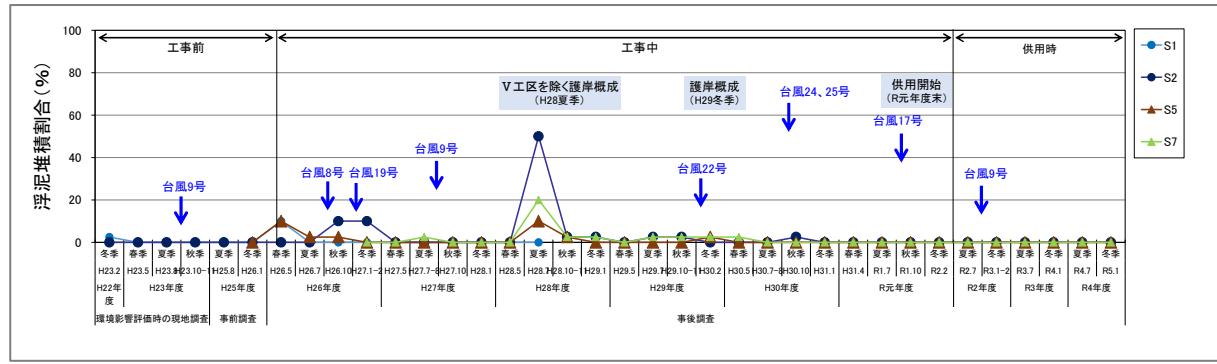
事業実施区域（定点調査地点）における浮泥の堆積状況を図一 1.4.13 に、砂面の経年変化を図一 1.4.14 に示す。

浮泥の堆積状況について、改変区域西側海域では、平成 28 年度に高く、閉鎖性海域の 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た。平成 29 年度以降は、改変区域西側海域及び閉鎖性海域のいずれの地点においても浮泥の堆積はほとんど確認されなかった。

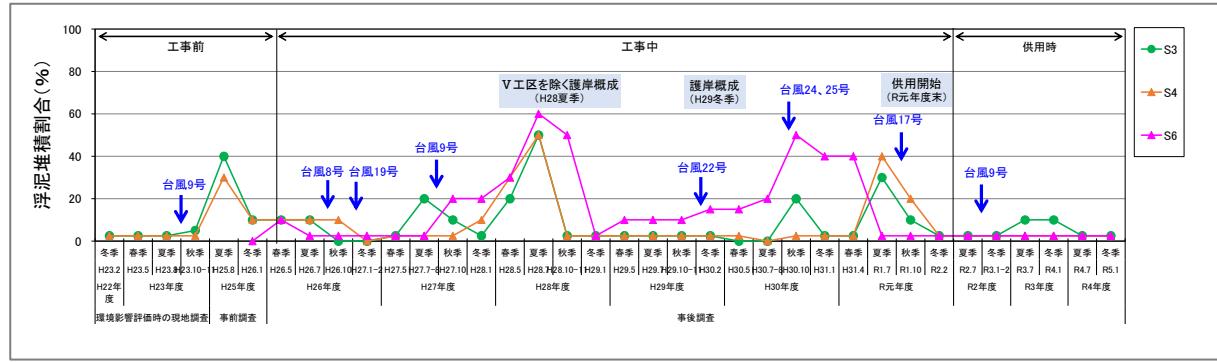
砂面変動については、St. S3 で平成 28 年度秋季以降減少傾向がみられており、St. S5 で平成 29 年度春季以降増加傾向が若干みられていた。

上記のような浮泥の堆積や砂面変動の増減傾向について、土砂による水の濁り（水質）の監視基準の超過位置及び時期との関連はみられなかった。また、土砂による水の濁り（底質）について、St. S3、S4 周辺では、平成 27 年 9 月 3 日～平成 28 年 2 月 24 日まで監視基準を超過した地点が複数みられ、St. S5 周辺では、平成 27 年 1 月 24 日、同年 10 月 27 日に監視基準の超過が確認されたが、これらの超過位置及び時期との関連もみられなかった。

【改变区域西侧海域】

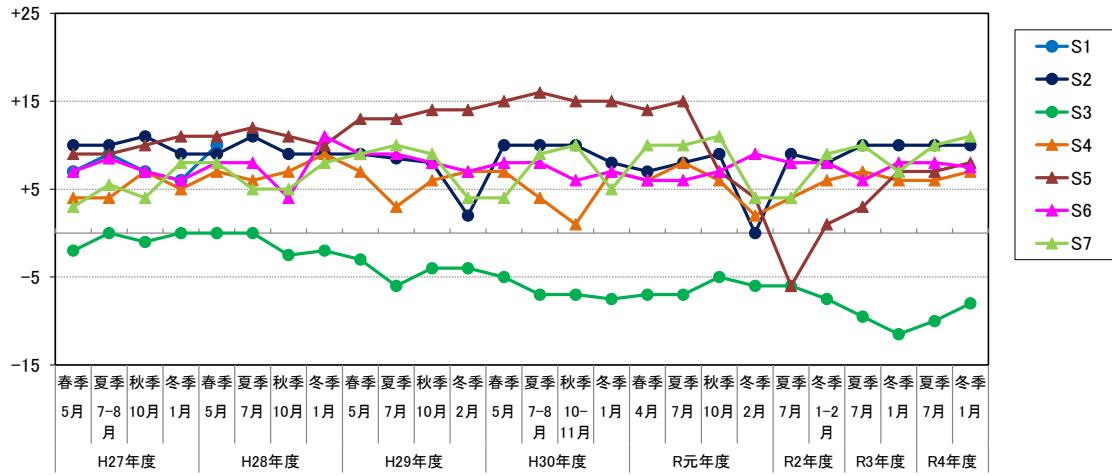


【閉鎖性海域】



注：1. 「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。
2. 最大瞬間風速 35m/s 以上 (那覇) が記録された台風を示す。

図- 1.4.13 事業実施区域（定点調査地点）における浮泥の堆積状況



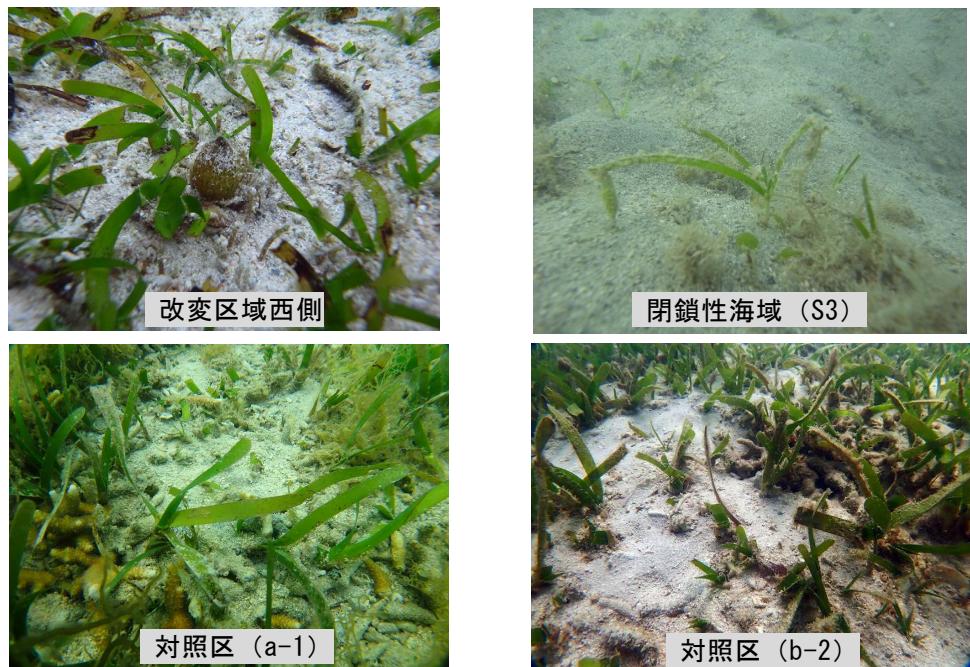
注：各地点に杭を設置し、堆積厚を計測、値は設置時からの増減を示す。

図- 1.4.14 事業実施区域（定点調査地点）における砂面変動の経年変化

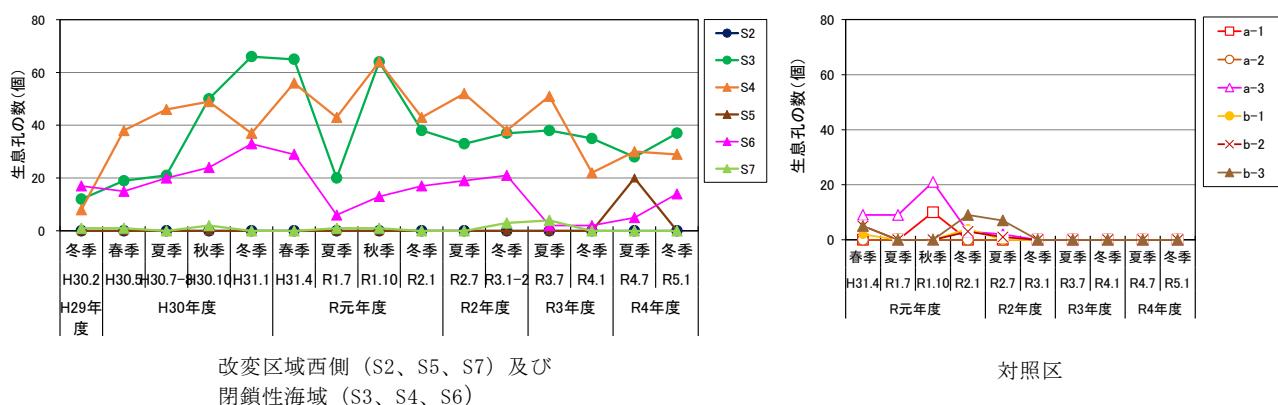
5) 草体の埋没、地下茎の露出

各海域の底質状況は、図一 1.4.15 に示すとおりである。閉鎖性海域の底質は細砂や砂泥、改変区域西側及び対照区の底質は砂礫であり、埋在生物の生息孔も対照区と比較して多い（図一 1.4.16）。埋在生物の生息孔は一般に、細砂や砂泥が多い底質でみられる。主な構成種であるリュウキュウスガモはサンゴの粗砂の多い場所に生息するとされているが、護岸の存在により外力の小さい閉鎖性海域では細粒分や浮泥等が堆積しやすいと考えられる。こうした底質環境の違いによりリュウキュウスガモの被度に違いを生じていると考えられる。

改変区域西側では閉鎖性海域と比較して粗砂が多く、埋在生物の生息孔は少ない。対照区においても生息孔は少なく、改変区域西側は対照区と類似した底質環境であった。



図一 1.4.15 各海域の底質環境



図一 1.4.16 埋在生物の生息孔の数の地点間比較（定点調査 5m×5m 枠内）

(3) 対照区調査

1) 分布調査

被度 20%以上の被度の高い分布域は、事後調査を開始した平成 26 年度春季以降安定して推移していたが、平成 29 年度冬季以降減少傾向にあり、被度 30%以上の区域は平成 29 年度冬季以降、被度 20~30%未満の区域は令和元年度冬季以降みられておらず、事前調査の変動範囲を下回った。

当該海域においては、台風等による波浪による藻場の洗堀、冬季大潮期の夜間干出による葉枯れが主要な被度低下要因であった。そのほかの変動要因については、下記に示すとおりである。

対照区の藻場分布域北側にはサンゴ群落があるため元来よりサンゴが低被度で散見されていたが、St. a-1、a-2 周辺では令和元年度春季から、St. b-1 では令和元年度夏季からヒメマツミドリイシやエダコモンサンゴが多くみられるようになった。特に St. a-1、a-2 ではサンゴの被度が 10~15%と高く、台風等による波浪や冬季の葉枯れ等によって被度が低下した後、サンゴが加入したことによって海草の生育場所が奪われた結果、被度の回復が進みにくい状況になっていたと考えられる。

なお、令和 4 年度夏季において、藻場内に成育していたサンゴの多くが死亡・礫化していることが確認された。

また、St. b-1、b-2 周辺では局所的に葉長が短いリュウキュウスガモがみられた。特に、St. b-2 周辺では令和 2 年度冬季以降、周辺部も含め、葉長の短い海草が非常に多く、葉鞘だけのものもみられた。葉長の短い海草がパッチ上にみられたことや、葉の切断面が直線的であったことがアオウミガメの食痕の特徴に合致し、令和 2 年度冬季には St. b-2 近傍に設置したカメラにアオウミガメが撮影されたことからアオウミガメによる食害を受けている可能性が高いと考えられる。アオウミガメによる海草の被度低下について、インド洋で報告がある¹ほか、西表島でもウミショウブが食害により減少したとの報告があり²、St. b-2 を中心に海草の被度低下要因・回復阻害要因になっていると考えられる。

そのほかに、平成 30 年度以降は浮泥の堆積割合において過年度より高い値が確認されている。こうした傾向は St. a-1 で特に顕著である。海域の地形に変化はないものの、降雨等による陸水流入やそれに伴う砂や泥の堆積状況が変化している可能性が考えられる。こうした変化が海草の生育に影響を与えている可能性がある。

¹ Christianen MJA et al. (2021), A dynamic view of seagrass meadows in the wake of successful green turtle conservation. *Nature Ecology & Evolution* 5:553–555.

² 水谷晃・井上太之・井上嵩裕・他 4 名 (2020) 西表島崎山湾・網取湾におけるスノーケリングセンサスにより評価したアオウミガメ *Chelonia mydas* の個体群構造. *沖縄生物学会誌* 58: 9–23

表ー 1.4.5 海草藻場（対照区）の分布面積の経年変化

被度	事前調査			モニタリング調査												単位：ha	
	H24年度		H25年度	H26年度				H27年度				H28年度				H29年度	
	H25.3	H25.8	H26.1	H26.5	H26.7	H26.10	H27.1	H27.5-6	H27.7	H27.10	H28.2	H28.5	H28.8	H28.10	H29.1	H29.5-6	
10%未満	15.4	23.4	24.8	33.5	33.9	38.6	42.5	46.1	36.0	33.1	39.7	41.5	38.8	33.7	36.6	36.0	
10~20%未満	45.8	23.3	23.0	22.1	20.6	18.0	20.0	18.2	22.4	22.8	23.1	17.8	19.0	22.0	19.9	22.0	
20~30%未満	15.8	23.7	24.7	24.2	22.1	27.9	26.7	26.2	25.7	28.5	25.6	32.1	31.1	31.5	31.7	33.3	
30~40%未満	0.0	5.7	4.4	4.2	3.5	3.0	2.6	3.4	3.8	1.0	0.8	1.3	1.5	2.5	2.4	2.5	
合計	77.0	76.1	76.9	84.0	80.1	87.5	91.8	93.9	87.9	85.4	89.2	92.7	90.4	89.7	90.6	93.8	
藻場合計海草量	1,159.0	1,258.5	1,240.5	1,251.0	1,153.5	1,265.5	1,271.0	1,277.5	1,291.5	1,255.0	1,213.0	1,322.5	1,309.0	1,373.5	1,358.0	1,430.0	

被度	モニタリング調査														単位：ha		
	H29年度		H30年度			R元年度				R2年度		R3年度		R4年度			
	H29.8	H29.11	H30.1-2	H30.5	H30.7	H30.10	H31.1-2	H31.4	R1.8	R1.10	R2.2	R2.7	R3.1	R3.7	R4.1	R4.7	R5.1
10%未満	40.2	39.8	47.2	45.7	41.6	45.3	51.8	47.6	46.4	50.4	48.4	56.7	58.7	56.6	58.4	63.5	61.5
10~20%未満	19.3	18.4	41.8	44.8	31.9	37.8	37.2	40.5	42.6	40.8	39.6	37.1	37.3	33.9	34.9	32.6	32.7
20~30%未満	30.9	32.6	5.3	5.0	22.1	8.9	8.7	8.9	8.3	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30~40%未満	3.8	3.5	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	94.2	94.3	94.2	95.6	92.0	97.7	97.0	97.3	98.0	87.9	93.7	95.9	90.5	93.2	96.0	94.2	
藻場合計海草量	1,396.6	1,411.8	994.5	1,029.0	1,241.6	1,016.1	1,034.1	1,067.7	1,078.5	1,033.1	835.3	839.5	852.3	791.1	814.9	805.8	798.5

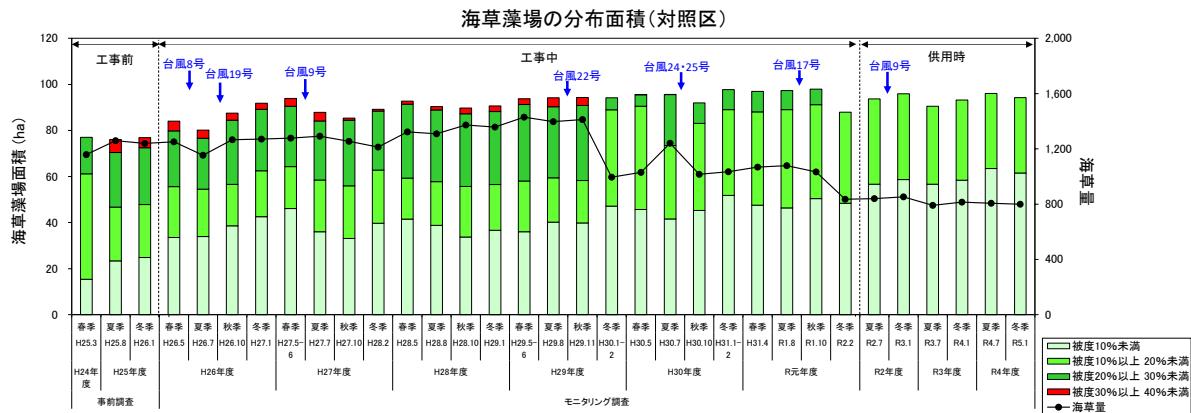
注：海草量は、各被度の中間値にそれぞれの面積を乗じた値の合計である。

例) 30%以上～40%未満(中間値 35) : w ha、

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 $35 \times w + (25 \times x + 15 \times y + 5 \times z)$ 。



注：1. 海草量は、被度別の面積の変化を指標で、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) 30%以上～40%未満(中間値 35) : w ha、

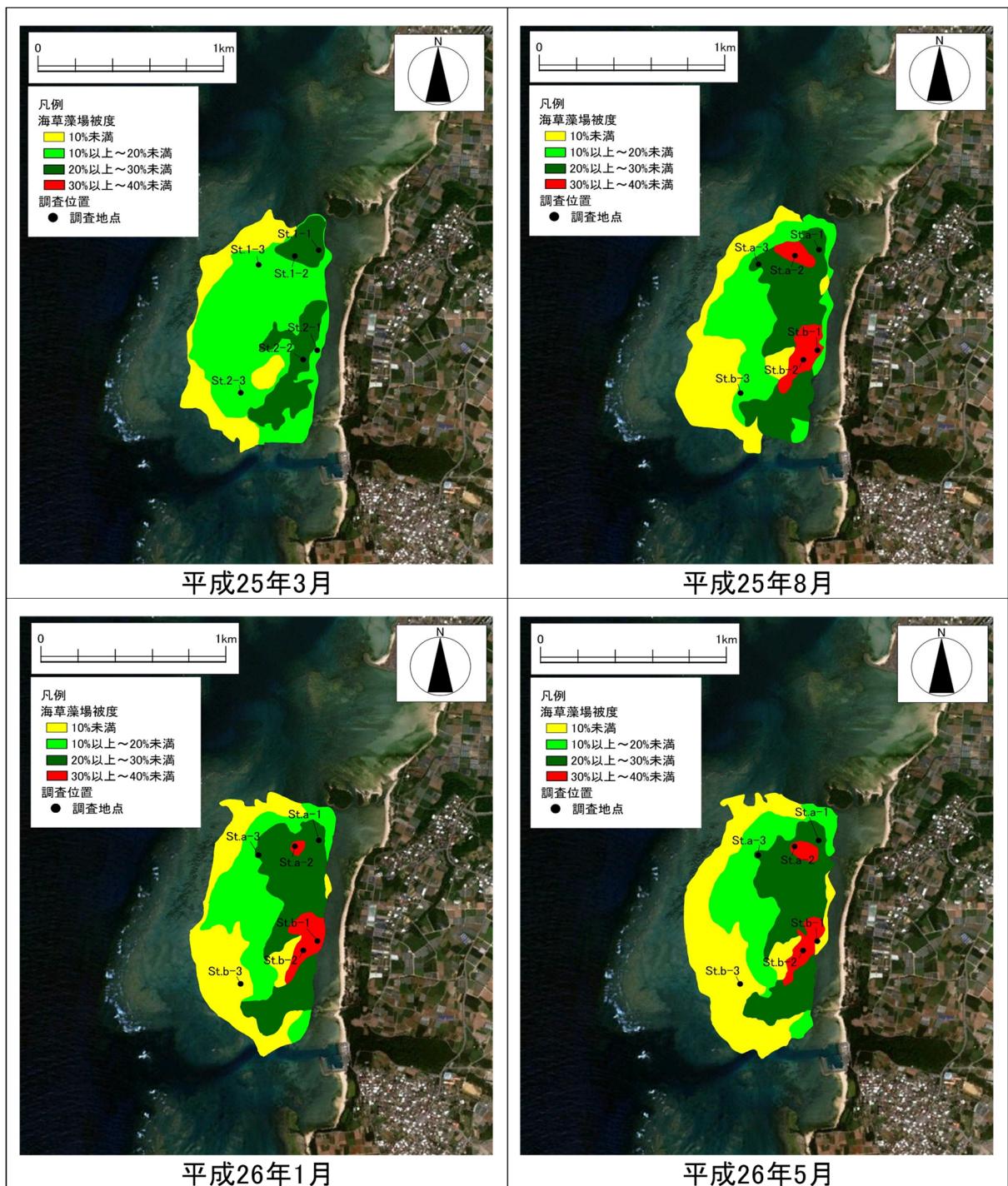
20%以上～30%未満(中間値 25) : x ha、

10%以上～20%未満(中間値 15) : y ha、

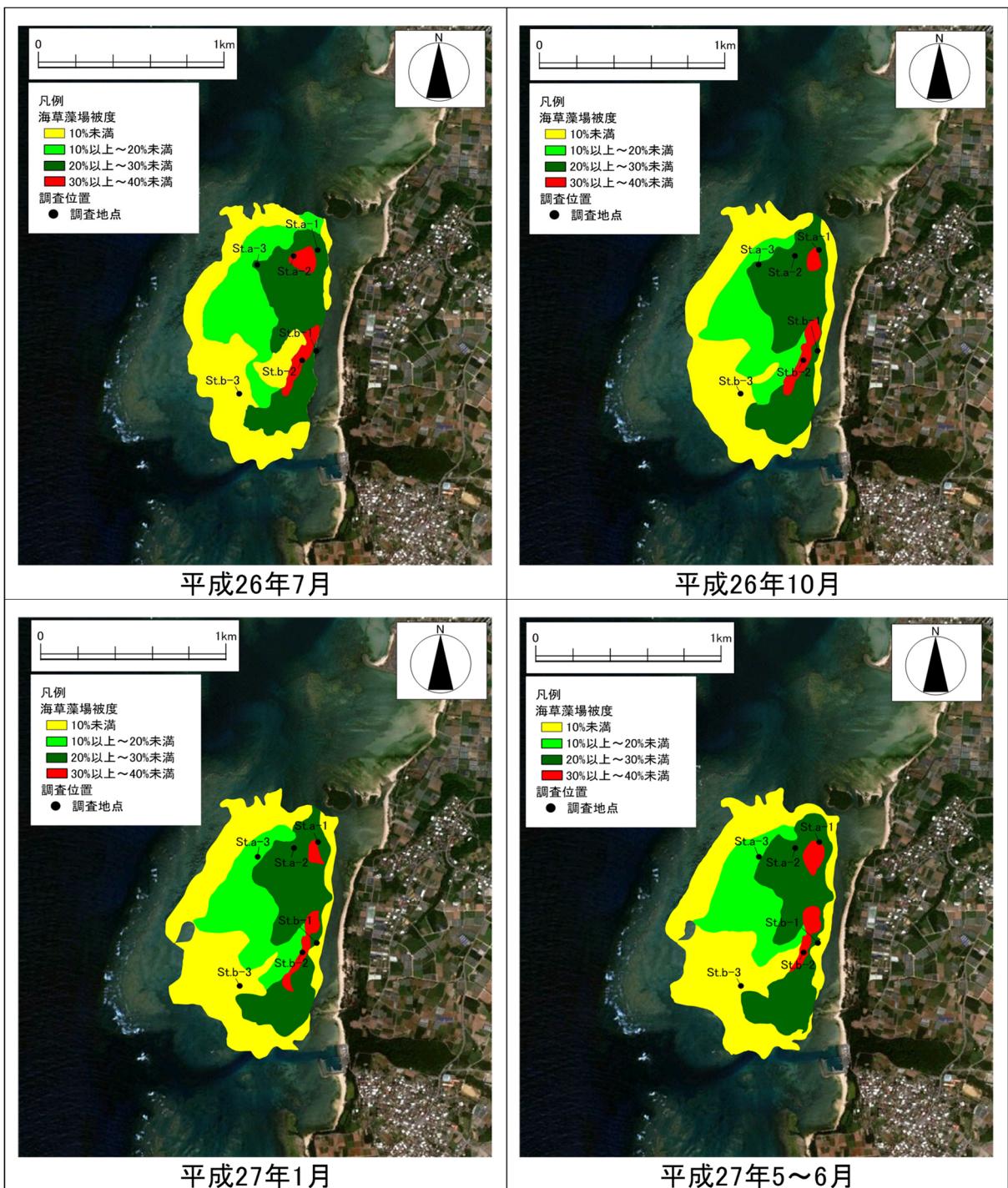
10%未満 (中間値 5) : z ha の場合、海草量は $35 \times w + (25 \times x + 15 \times y + 5 \times z)$ 。

注：2. 最大瞬間風速 35m/s 以上（那覇）が記録された台風を示す。

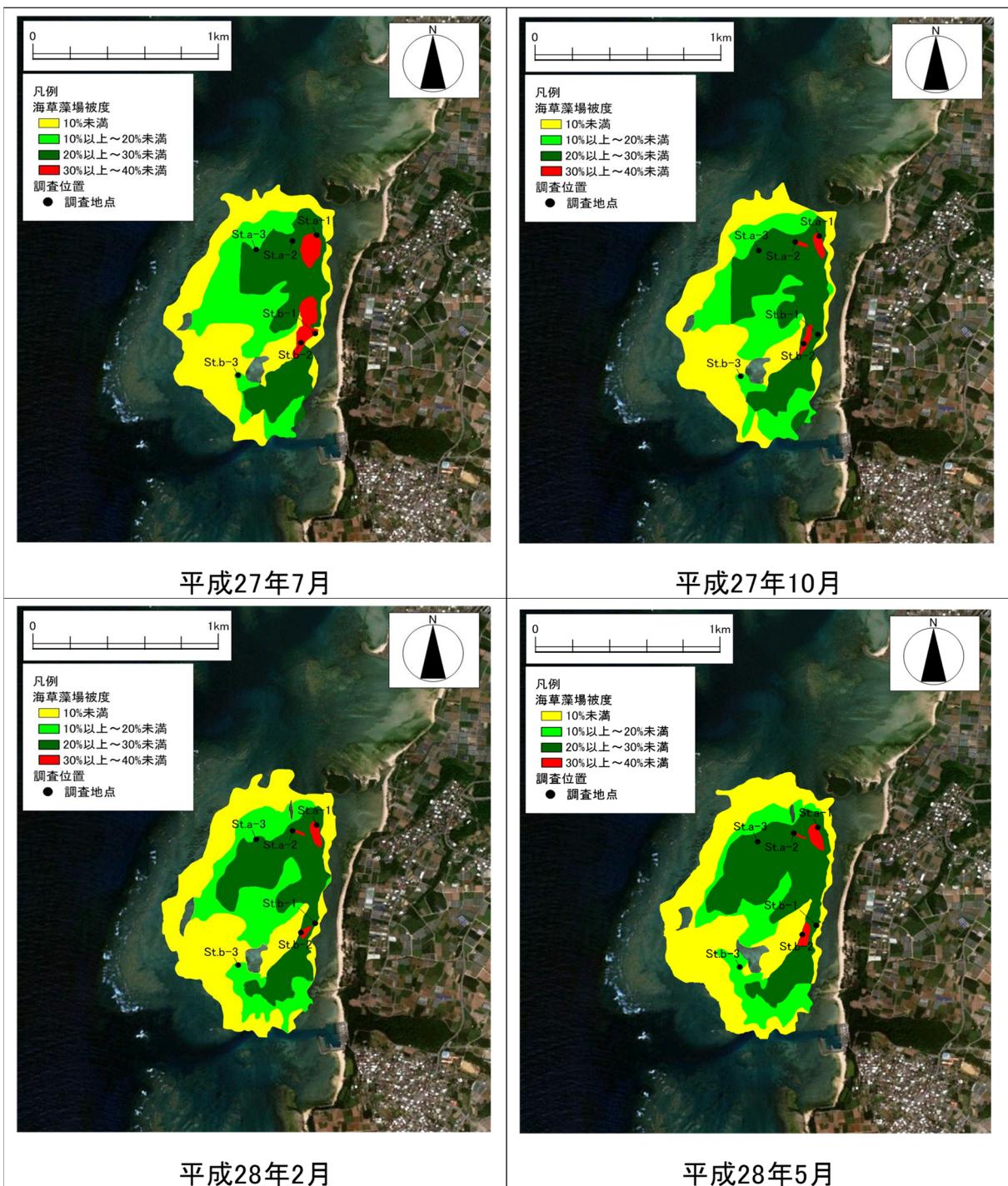
図ー 1.4.17 海草藻場（対照区）の分布面積の経年変化



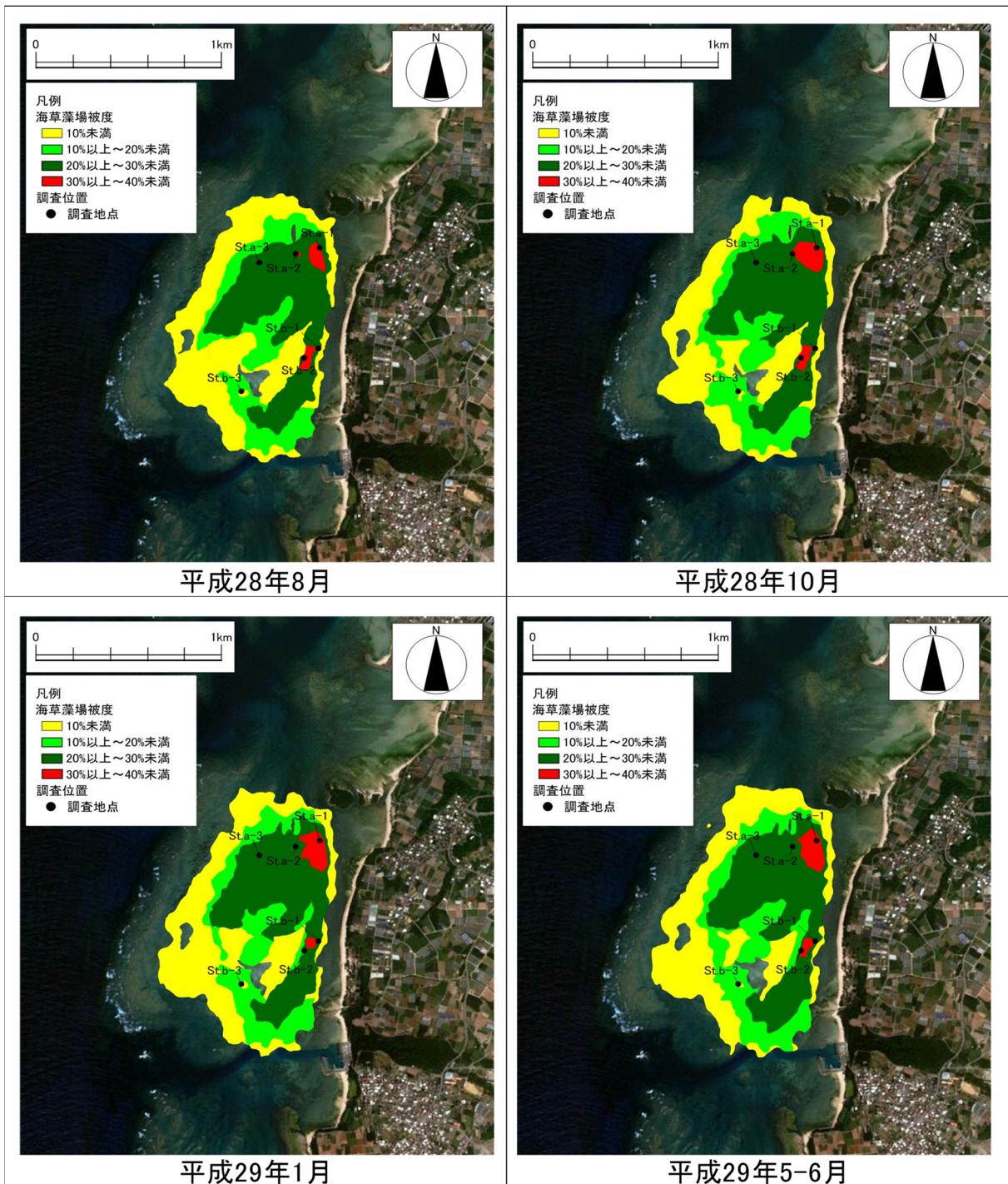
図一 1.4.18 (1) 海草藻場（対照区）の分布状況の経年変化



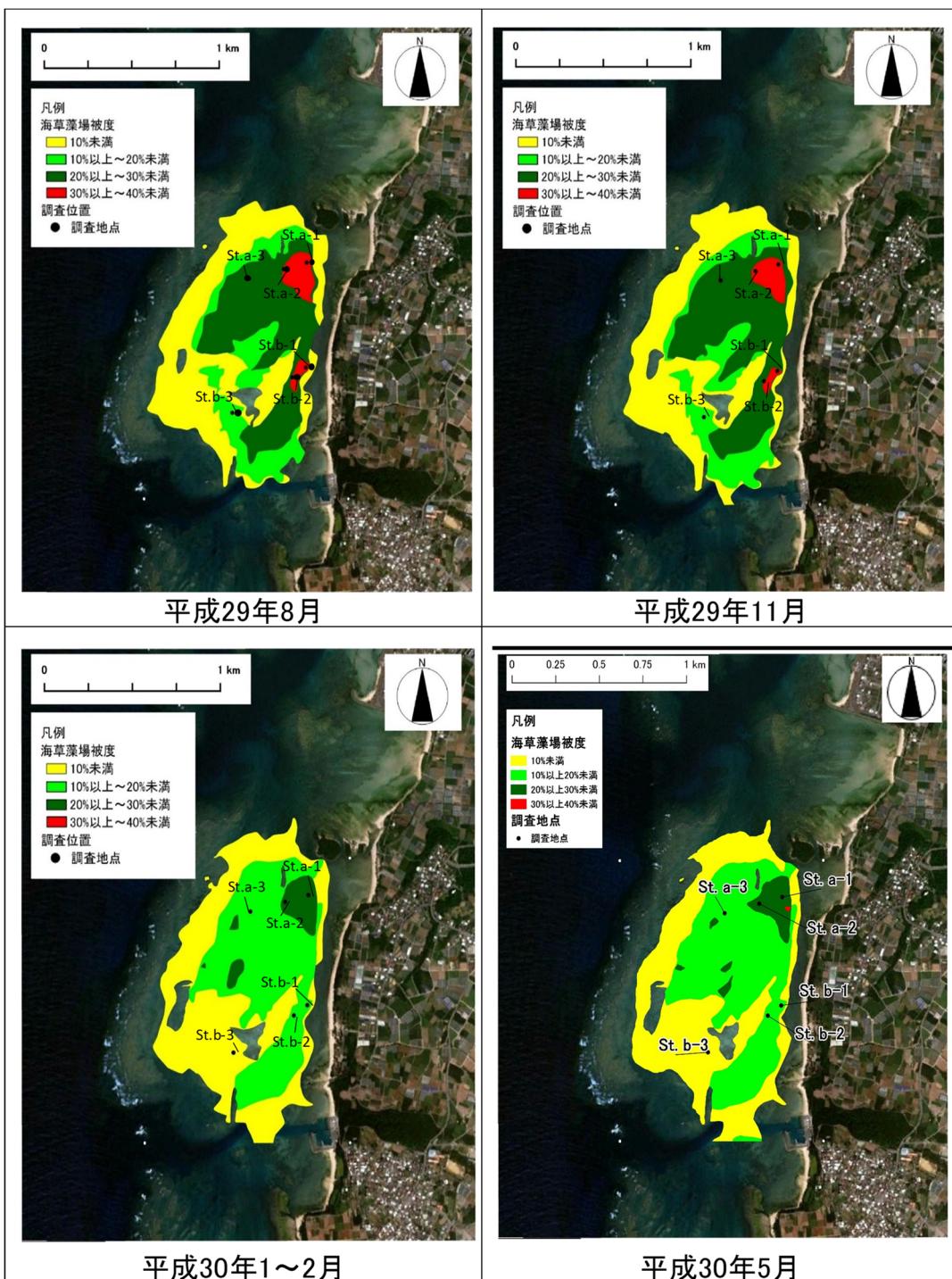
図一 1.4.18 (2) 海草藻場（対照区）の分布状況の経年変化



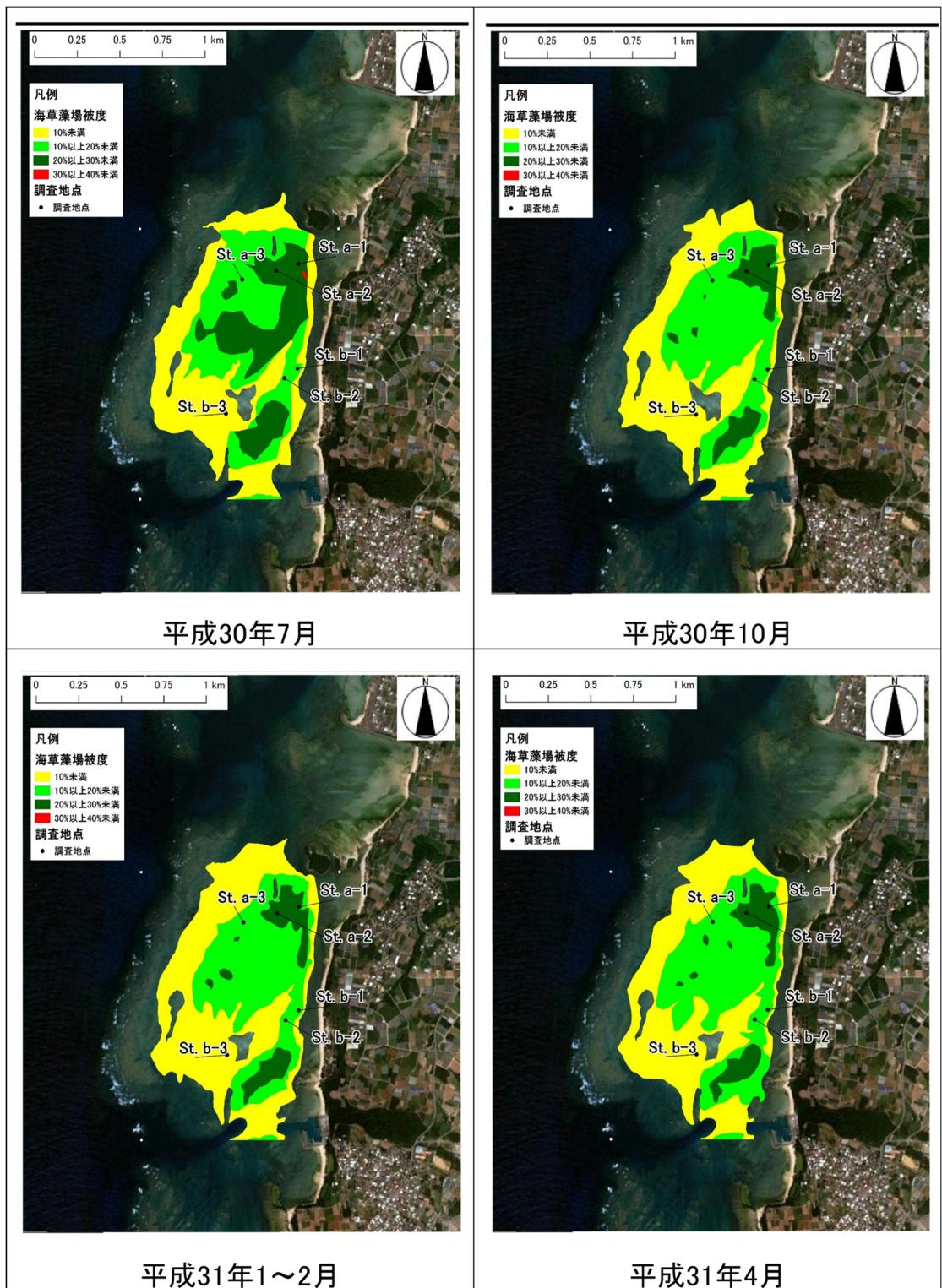
図一 1.4.18 (3) 海草藻場（対照区）の分布状況の経年変化



図一 1.4.18 (4) 海草藻場（対照区）の分布状況の経年変化



図一 1.4.18 (5) 海草藻場（対照区）の分布状況の経年変化



図一 1.4.18 (6) 海草藻場（対照区）の分布状況の経年変化