

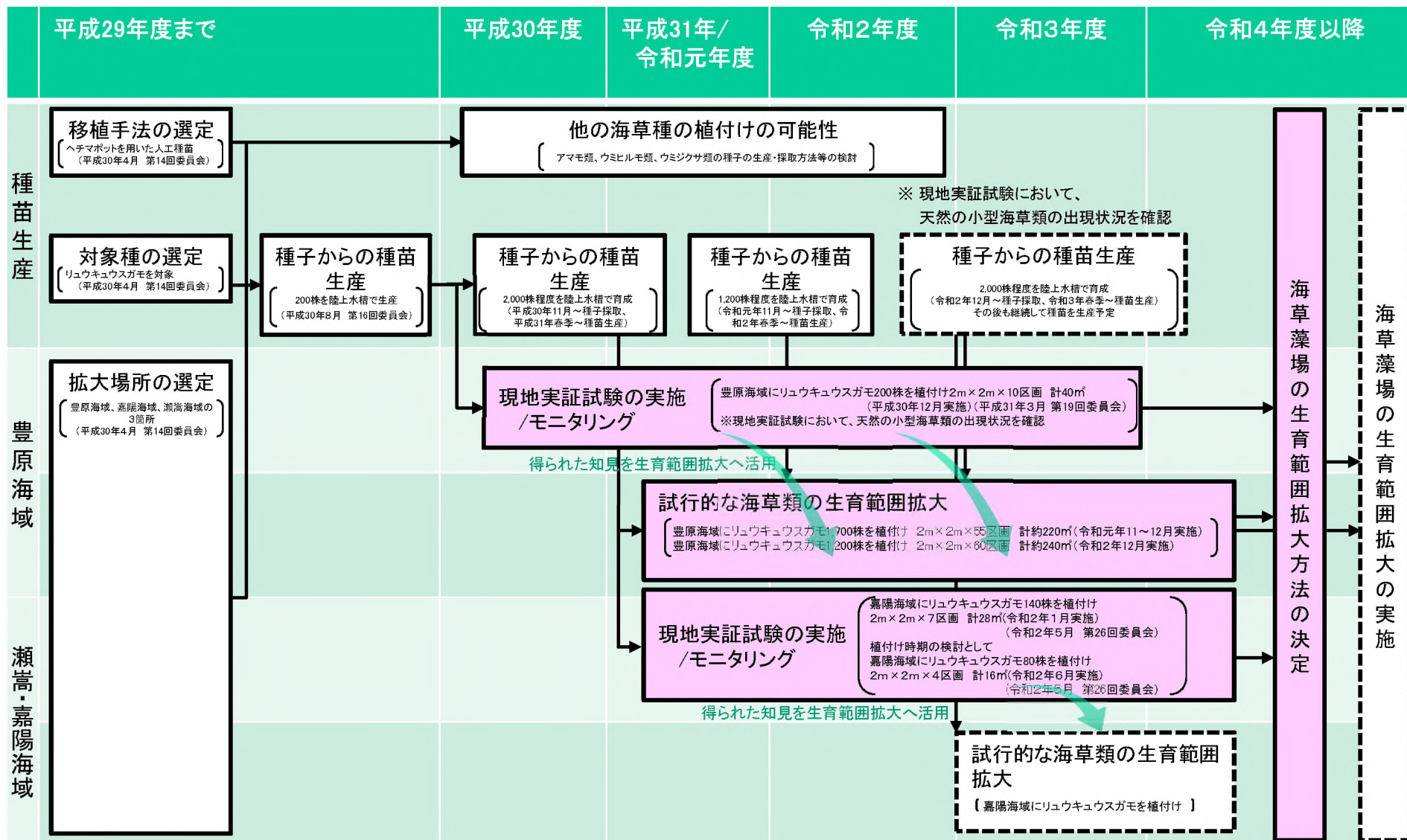
海草藻場の生育範囲拡大について

令和4年4月

沖縄防衛局

海草藻場の生育範囲拡大の 実施状況について

○海草藻場の生育範囲拡大のフローを以下に示す。



凡例: 実施済or実施中 計画
今回の報告事項

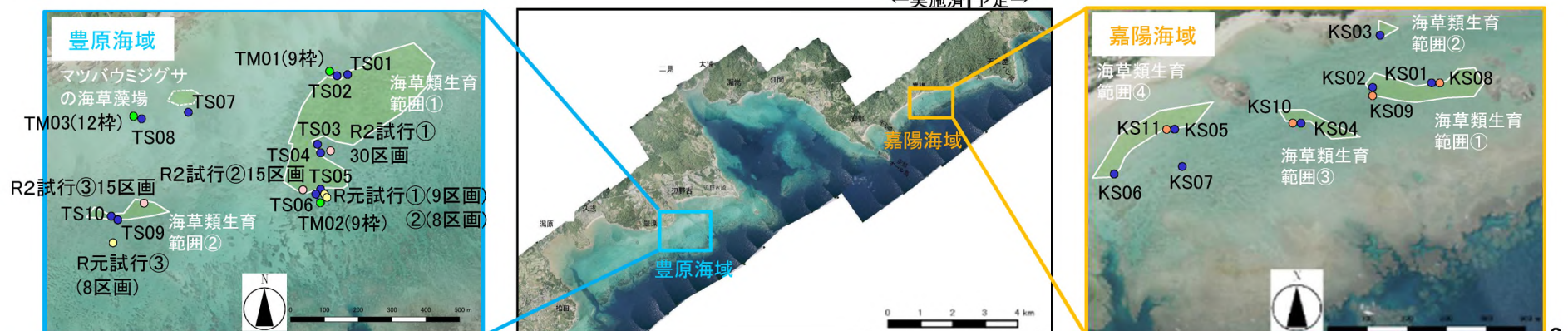
○リュウキュウスガモの植付けとモニタリング等の実施状況について

- ・豊原海域と嘉陽海域の実証試験では、リュウキュウスガモの植付けを行い、植付けから3か月後までは毎月、それ以降は年4回(四季)の頻度で生育調査、藻場生態系調査及び水環境調査を実施している。
- ・嘉陽海域(夏植付け)では、植付けから3か月後までは毎月、それ以降は年4回(四季)の生育調査を実施した。
- ・豊原海域における試行的な生育範囲拡大では、令和元年に500株(25区画)、令和2年に1,200株(60区画)の植付けを実施し、密度試験では2m枠内に20株、40株、60株の密度で(30区画)植付けを行い、年4回(四季)のモニタリングを実施している。
- ・嘉陽海域における試行的な生育範囲拡大では、令和4年に2,000株(100区画)の植付けを実施した。
- ・今回、豊原海域の最終評価、嘉陽海域の中間評価②について報告する。

年月	季節	平成30年度			平成31年度/令和元年度											令和2年度											
		12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
現地実証試験	豊原海域	10区画 200株	●★	1M	2M	3M			夏(6M)				台(9M)	秋(10M)	冬(12M)	—中間評価①		春(18M)		夏(18M)			台(21M)	秋(22M)		冬(24M)	—中間評価②
	嘉陽海域	7区画 140株													●★	1M	2M	3M		夏(5M)			台(8M)	秋(9M)		冬(12M)	—中間評価①
	嘉陽海域(夏植付け)	4区画 80株																		●★	1M	2M	3M/台	秋(4M)		冬(7M)	
試行的な生育範囲拡大	豊原海域	25区画 500株													●				春			夏		台	秋		冬
	豊原海域(密度試験)	60区画 1,200株													●				春			夏		台	秋		冬
	嘉陽海域	100区画 2,000株																									

年月	季節	令和3年度											令和4年度														
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		
現地実証試験	豊原海域	10区画 200株		春(28M)		夏(30M)				秋(34M)		冬(36M)		—最終評価													
	嘉陽海域	7区画 140株		春(15M)		夏(17M)				秋(21M)		冬(24M)		—中間評価②													—最終評価
	嘉陽海域(夏植付け)	4区画 80株		春(10M)		夏(12M)		植付け時期の評価																			
試行的な生育範囲拡大	豊原海域	25区画 500株		春		夏				秋		冬															
	豊原海域(密度試験)	60区画 1,200株		春		夏				秋		冬															
	嘉陽海域	30区画 1,200株		春		夏				秋		冬		—最適密度の評価													
		100区画 2,000株																								●	

- : 植付け
- ★: 1W, 2Wモニタリング
- 台: 台風後モニタリング
- : 今回報告事項
- : 評価予定



●: 実証試験 ○: R元試行植付け ●: 試行植付け(密度試験) ○: 実証試験(夏植付け) ○: R2試行的植付け

現地実証試験/モニタリング結果 豊原海域

○豊原海域における冬季(36M)のモニタリング結果の概要

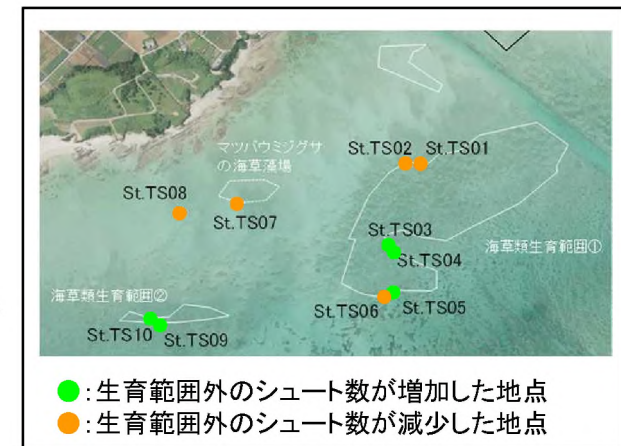
地点別のモニタリング結果について、冬季調査(36M)における概要は以下のとおり。

<目視によるシュート数>

- ・中間評価②で生育範囲外のシュート数が増加と評価した5地点(● TS03、04、05、09、10)の冬季調査(36M)におけるシュート数は、79～257%の増加であった。
- ・中間評価②で生育範囲外のシュート数が減少と評価した5地点(○)のうち、TS01、02、06、08の冬季調査(36M)におけるシュート数は、24～100%の減少であった。なお、TS07では令和元年の台風後の10か月後モニタリングから直近の冬季調査(36M)まで、リュウキュウスガモはみられていない。

$$\text{移植1W後のシュート数を}\pm 0\% \text{とした} = \frac{(36\text{Mシュート数}) - (1\text{Wシュート数})}{(1\text{Wシュート数})} \times 100$$

36Mにおける増減率(%)



<最大侵食量>

- ・冬季(36M)の植付け区(2m枠内)における最大侵食量は、秋季(34M)の砂面高からTS01、03、07、10で4cm、TS05、06、08で3cm、TS02、04、09で1cmであった。
- ・移植株が確認されなかった箇所での最大侵食量はTS04、10で1cm、TS06で3cmであることから、侵食の影響による移植株の流失のためではなく、葉の切断又は埋没により一時的に確認されなかったためであると推察された。

<水温・塩分、全窒素・全リン>

- ・36か月後モニタリングの各地点の水温は21.7～23.5℃、塩分は34.6～34.7であった。
- ・36か月後モニタリングの各地点の全窒素は0.06～0.09mg/L、全リンは0.004～0.006mg/Lであった。

<藻場生態系>

- ・36か月後モニタリングの各地点の魚類の出現種類数は3～50種類であり、合計種類数は83種類であった。
- ・底生動物の各地点の出現種類数は6～15種類であり、合計種類数は33種類であった。

<まとめ>

冬季(36M)において、新たに移植株の生残に影響を及ぼすような環境の変化は生じていなかった。

現地実証試験/モニタリング結果 嘉陽海域

○嘉陽海域における冬季(24M)のモニタリング結果の概要

地点別のモニタリング結果について、冬季調査(24M)における概要は以下のとおり。

<目視による生残株数>

- ・第31回委員会における中間評価①で、1年目までの目視による生残率が比較的良好と評価した4地点(●KS01、02、03、05)の生残株数は15~20株で、秋季調査(21M)から株数に変化はなかった。
- ・中間評価①で、1年目までの目視による生残率が漸減傾向と評価したKS07(●)では秋季の3株から1株減少し、2株となった。
- ・中間評価①で、1年目までの目視による生残率について台風による影響が大きいと評価した2地点(●KS04、06)のうち、KS04では秋季の5株から3株減少して2株となり、KS06では秋季の0株のままでリュウキュウスガモはみられなかった。

<最大侵食量>

- ・冬季(24M)の植付け区(2m枠内)における最大侵食量は、秋季(21M)の砂面高からKS01で3cm、KS02、06で2cm、KS05、07で1cm、KS03、04で0cmであった。
- ・移植株が確認されなかった箇所の最大侵食量はKS07は1cm、KS04は0cmであったことから、侵食の影響による移植株の流出のためではなく、葉の切断又は埋没により一時的に確認されなかったためであると推察された。

<水温・塩分、全窒素・全リン>

- ・24か月後モニタリングの各地点の水温は19.4~19.8℃、塩分は34.7であった。
- ・24か月後モニタリングの各地点の全窒素は0.09~0.11mg/L、全リンは0.003~0.009mg/Lであった。

<藻場生態系>

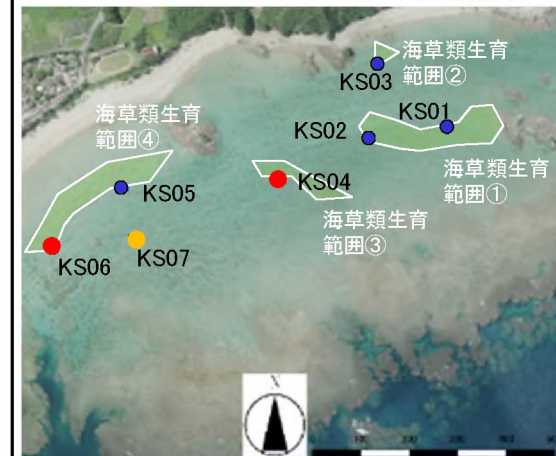
- ・24か月後モニタリングの各地点の魚類の出現種類数は8~30種類であり、合計種類数は61種類であった。
- ・底生動物の各地点の出現種類数は3~10種類であり、合計種類数は20種類であった。

<まとめ>

- ・冬季(24M)において、新たに移植株の生残に影響を及ぼすような環境の変化は生じていなかった。

[参考] 中間評価①での地点評価

(第31回委員会)



地点ごとの
目視による生残率
(12M)

- 比較的良好な地点
- 漸減傾向の地点
- 台風影響の大きい地点

「中間評価② 移植株の拡大」について
現地実証試験/嘉陽海域

○嘉陽海域における「中間評価② 移植株の拡大」について

- ・現地実証試験は、環境保全措置として実施する「海草藻場の生育範囲拡大」を行うための具体的な方法を決定するために、植付け手法や植付けに適した環境の把握を行う目的で実施している。
- ・嘉陽海域では、ヘチマポットの有効性の検証(全試験区)、生育範囲内外における生育状況(KS04)、生育範囲外の裸地における生育状況(KS07)及び生育範囲内で被度が低い箇所での生育状況(KS01、02、03、05、06)をモニタリングし、生育範囲拡大に関する手法などの検討を行うこととしている(第26回委員会)。
- ・中間評価①では、KS01、02、03、05で目視による生残率が比較的良好であり、ヘチマポットによる植付けが有効と評価された。
- ・今回、24か月後モニタリングまでの結果から、嘉陽海域における「**中間評価②移植株の拡大**」について、目視+埋没株の確認による生残率とバイオマス(シュート数)を報告する。

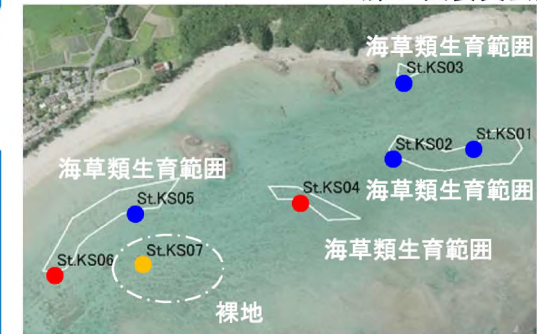
評価時期と評価項目一覧

評価時期	評価項目	生残率	バイオマス	その他考慮事項
中間評価① 移植株の維持 (移植1年後 第31回委員会)		● (目視による生残率)		
中間評価② 移植株の拡大 (移植2年後 今回報告事項)		● (目視+埋没株の確認による生残率)	● (シュート数)	
最終評価③ 安定 (移植3年後 令和4年度冬調査後予定)			● (シュート数)	開花・結実 他の海草の生育

 : 今回報告する事項

[参考] 中間評価①での地点評価

(第31回委員会)



地点ごとの目視による生残率(12M)

●比較的良好な地点

●漸減傾向の地点

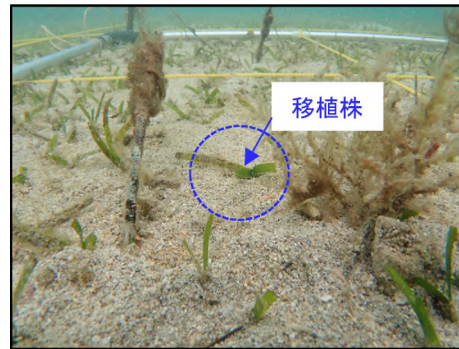
●台風影響の大きい地点

○混生株について

- ・生育範囲内に植え付けた移植株は、植付け直後からおおよそ9か月後までは、植え付けた位置に移植株由来のシュートしかないため、移植株としての判別が可能であった。
- ・しかし、おおよそ12か月以降になると、生育範囲内では移植株が周辺に増加させたシュートと、周辺に生育しているリュウキュウスガモが移植株付近にまで増加させたシュートとの区別ができない状況がみられたため、これらを「混生株」として計数した。

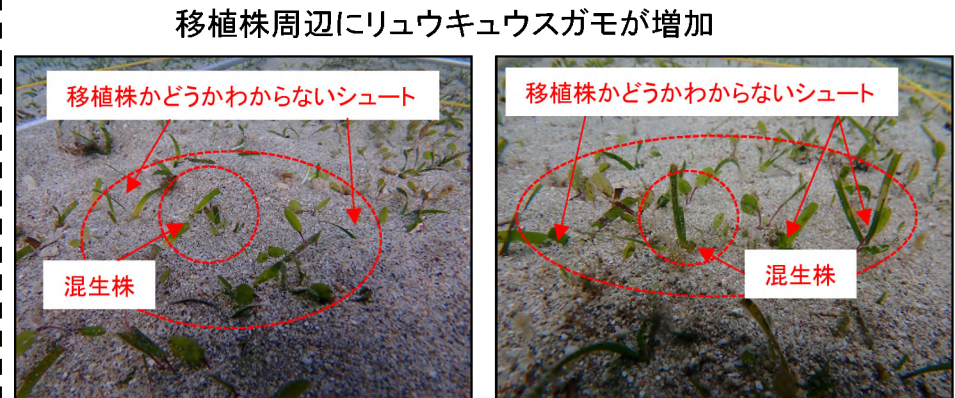


1週間後モニタリング



9か月後モニタリング

移植株の判別が可能

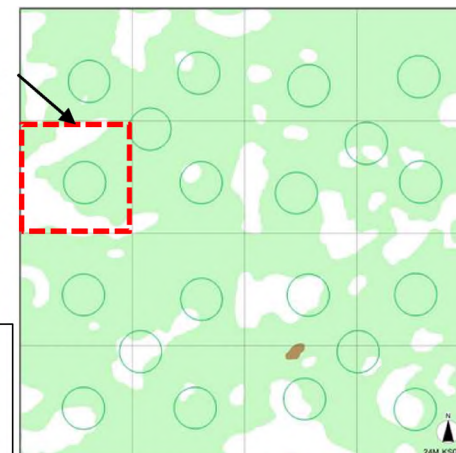
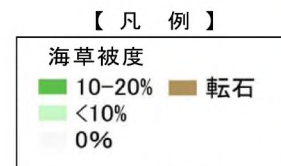


12か月後モニタリング

24か月後モニタリング

混生株(移植株かどうかの判別不可)

撮影箇所



○: 植付け位置にリュウキュウスガモを確認(既存の海草と区別がつかない)

24か月後モニタリング(KS02)

1. 生残率について

- ・移植株のうち、24か月後モニタリングまでに目視により生残が確認できなくなった株(合計64株、以下「埋没株」)について生残状況を確認したところ、15株は流失、49株は死亡であり、埋没して生残していた株はみられなかった。また、9か月後モニタリング以降は、混生株の割合が増加していた。
- ・中間評価①において、地点別の確定生残率(目視+埋没株)が高かった4地点(KS01、02、03、05)では、24か月後モニタリングにおいても、生残率が高い状況が継続していた。

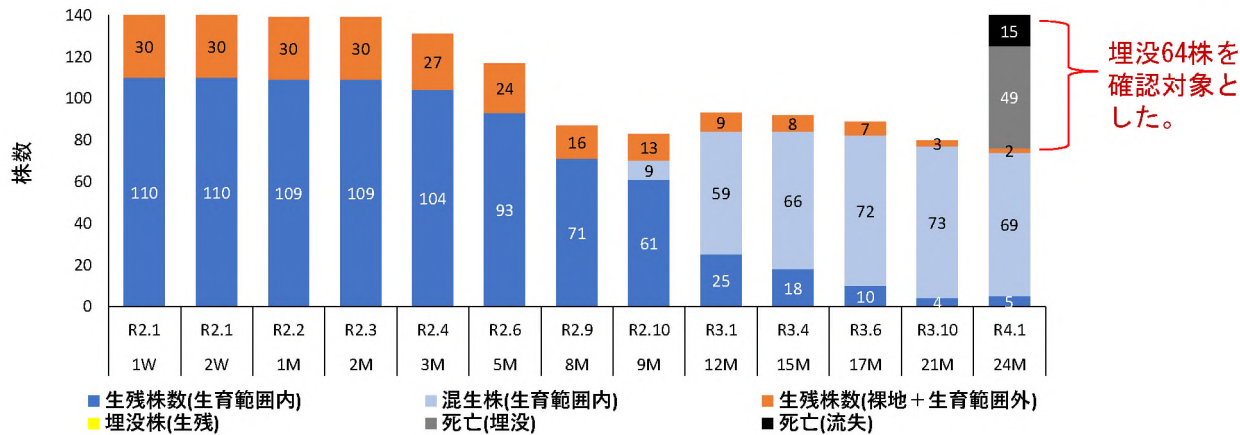
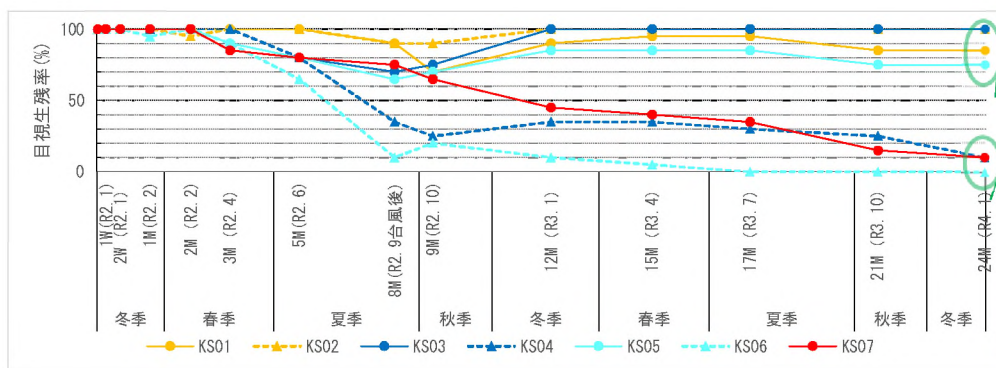
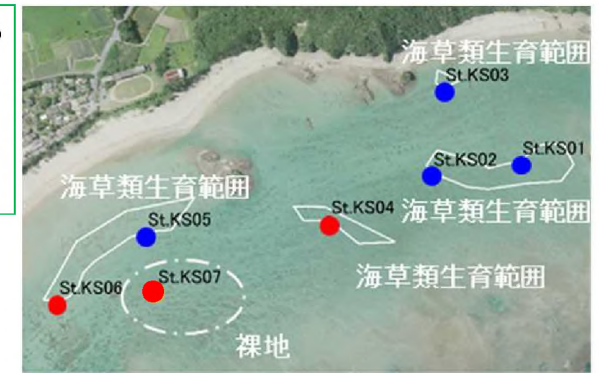


図 目視による生残株数の推移(嘉陽海域)と埋没株の確認の結果



目視+埋没株の確認による生残率が高い地点
 KS01: 85%
 KS02: 100%
 KS03: 100%
 KS05: 75% 計4地点

目視+埋没株の確認による生残率が低い地点
 KS04: 25%
 KS06: 0%
 KS07: 15% 計3地点

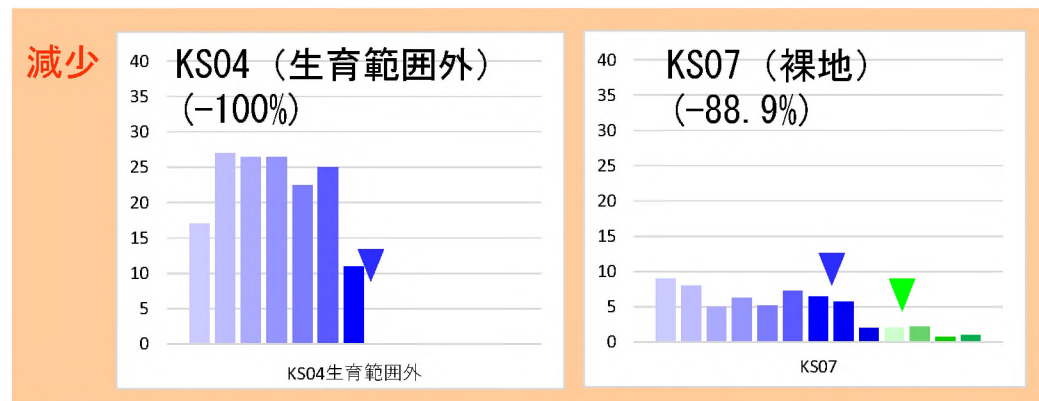


● : 目視+埋没株の確認による生残率が良好な地点
 ● : 目視+埋没株の確認による生残率が良好でない地点

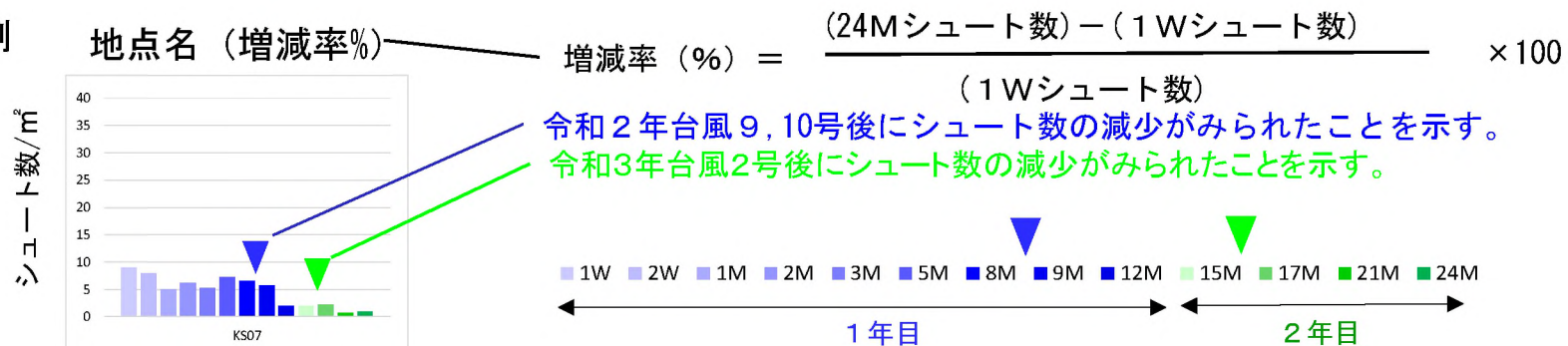
図 嘉陽海域の各地点における目視+埋没株の確認による生残率の推移

2. シュート数について

- ・KS04は、中間評価①において、生残率が低下した地点である。既存のリュウキュウスガモを中心とする生育範囲内と移植株を中心とする生育範囲外ともに、8か月後モニタリング以降はシュート密度が減少していた。また、KS04は令和2年台風9、10号後に、移植株の流失と岩盤の露出がみられている。そのため、中間評価②において、植付けには適さないと考えられた。
- ・KS07は、中間評価①において、生残率が漸減した地点である。その後も漸減し、24か月後モニタリングでは生残株は2株となり、シュート密度も同様に減少した。KS07は、リュウキュウスガモが存在しない生育範囲外の裸地であり、中間評価②において、植付けには適さないと考えられた。
- ・上記KS04と07以外の地点では、前述した混生株の状態であったことから、移植株由来のシュート数での評価ができない状況であった。

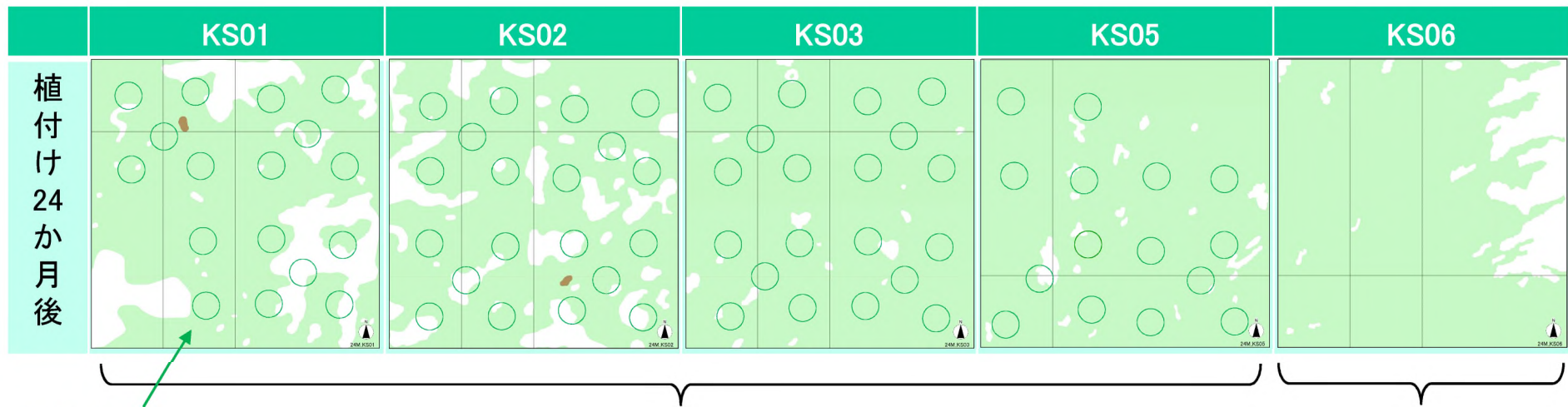


凡例



3. シュート数で評価ができない地点 (KS01、02、03、05、06) について

- ・シュート数で評価ができないKS01、02、03、05、06のうち、KS01、02、03、05は移植株の植付け位置にリュウキュウスガモが確認されているため、移植株の生育が良好で植付け適地である可能性がある。
- ・一方で、KS06は海草藻場は確認されているものの、移植株の生育は良好でなく植付けに適さない可能性が考えられる(リュウキュウスガモには不適だが小型海草類※は生存している)。
- ・嘉陽海域において植付け適地と考えられるKS01、02、03、05は、移植株と天然株を区別してシュート数を計測することはできないため、今後は移植株かどうかに関わらず、植え付けた場所にリュウキュウスガモが生残しているかどうかを確認する「目視生残率」を中心に、その他配慮事項、物理条件などを勘案して植付け候補地を選定していくこととする。



植付け位置にリュウキュウスガモを確認
(既存の海草と区別がつかない)

植付け適地である可能性がある

植付けに適さない
可能性がある

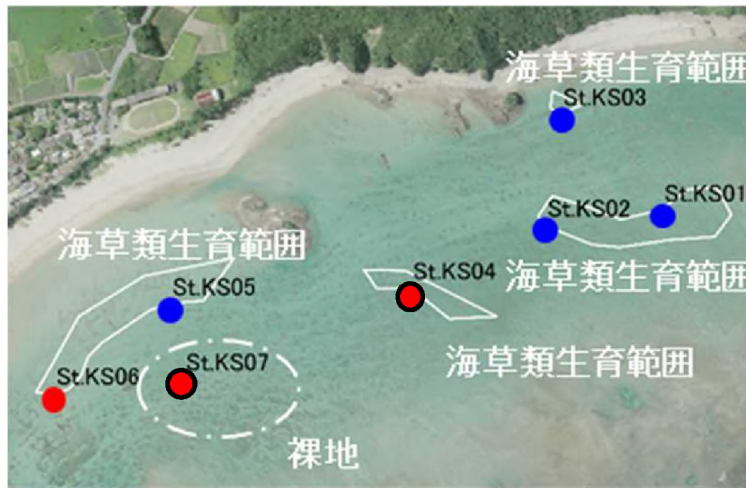
【 凡 例 】

海草被度	
■ 10-20%	■ 転石
■ <10%	
■ 0%	

※小型海草の、ウミヒルモ属、ウミジグサ属、ホソバウミジグサ、マツバウミジグサが生育

4. 中間評価②「移植株の拡大」についてのまとめ

- ・目視+埋没株の確認による生残率が良好な地点はKS01、02、03、05の4地点であり、良好でない地点はKS04、06、07であった。
- ・良好でない地点のうちKS04と07では生育範囲外のシュート数も減少しているため、移植株の生育が良好でないKS06と共に、中間評価②においては植付けには適さないと考えられた。



- : 目視+埋没株の確認による生残率が良好な地点
- : 目視+埋没株の確認による生残率が良好でない地点
- + : 目視+埋没株の確認による生残率が良好でない
+ シュート数による評価が良好でない地点

- ・今後は、最終モニタリング(36か月後)まで観察を続け、試行的な植付けの結果や、豊原海域の最終評価の結果も考慮しながら、嘉陽海域における植付け手法や植付け適地選定のための環境条件の検討など、海草藻場の生育範囲拡大の知見の総合的な整理を進める方針。
- ・嘉陽海域における植付け適地の選定は、最終評価を経て決定していくものの、現時点(中間評価②の段階)では、被度の向上を目的としてKS01、02、03、05を中心に進める方針を考えている。なお、第35回委員会で示した嘉陽海域における試行的な植付け(令和4年3~4月に植付け実施)についても、この考え方に沿って植付け候補地点を検討したところ。

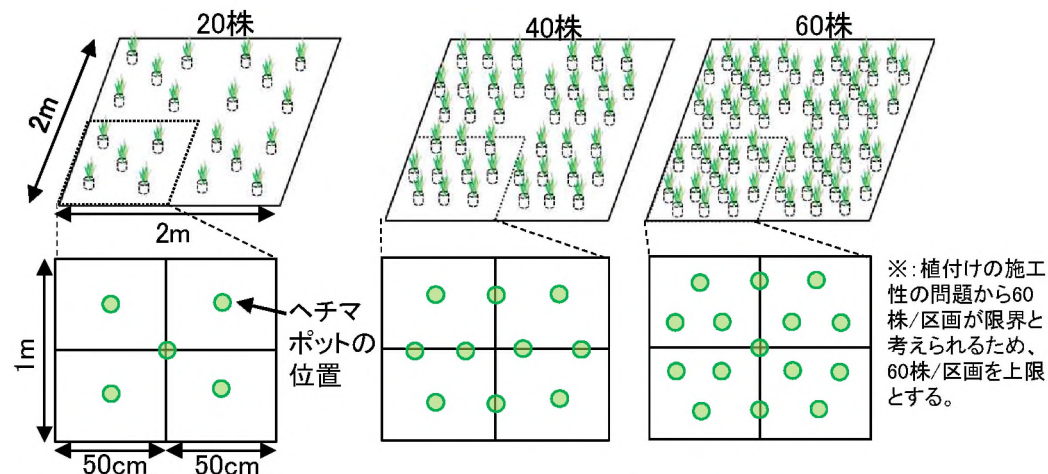


嘉陽海域における試行的植付け候補地点

試行的な生育範囲拡大/
密度試験（最適な密度の検討）の評価

○密度試験(最適な密度の検討)について

- ・本検討は、海草類の生育範囲の拡大に最適と見込まれる植付け密度を検討することを目的としている。
- ・図中の●で示す環境の異なる3地点(TM01、TM02、TM03)に、1区画(2m×2m)あたり20株(現地実証試験と同数)、40株、60株の3パターンの密度でTM01及びTM02には各3区画、TM03には各4区画を設定し、令和元年11月28日～12月18日に植付けを実施した。



1区画あたり及び1㎡あたりの植付け方イメージ

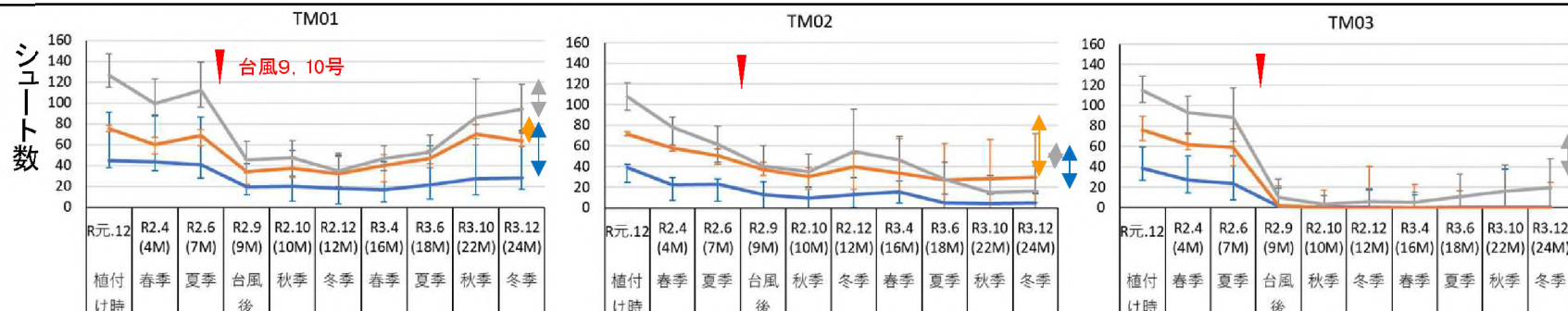
地点	地点条件	既存藻場被度	水深 D.L.	備考
● St.TM01	広域的に分布する海草類生育範囲①の岸側。	5%	-1.3m~-1.6m	1区画(2m×2m)あたり20株、40株、60株の3パターンの密度で各3区画を設置
● St.TM02	広域的に分布する海草類生育範囲①の沖側。	5%	-1.8m~-2.2m	1区画(2m×2m)あたり20株、40株、60株の3パターンの密度で各3区画を設置
● St.TM03	最も岸に近い地点であり、近傍に海草類生育範囲がない裸地。	0%	-1.3m~-1.5m	1区画(2m×2m)あたり20株、40株、60株の3パターンの密度で各4区画※を設置

※TM03は近傍に海草類生育範囲がない裸地であり、生育不良がみられた際の原因究明に資するため、他の地点より多くの区画を設置した。

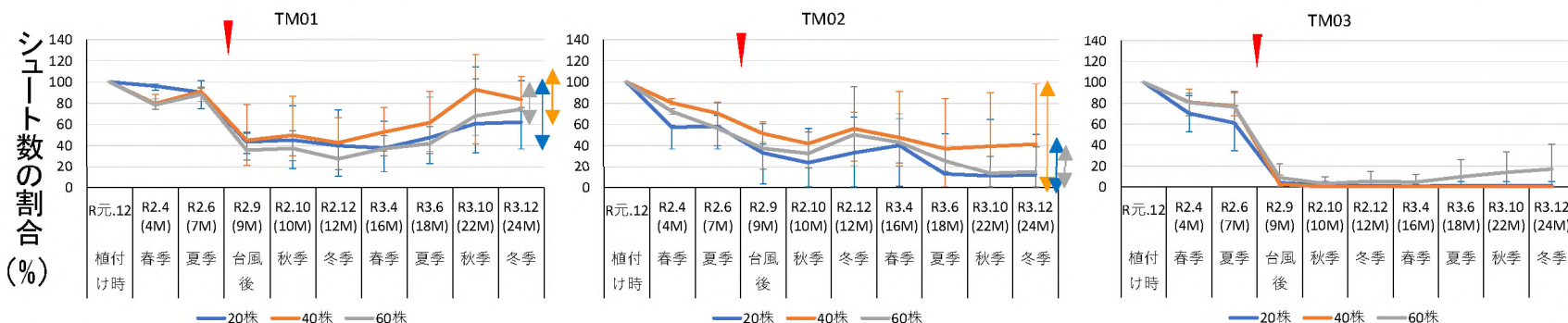
○シュート数の推移について

- ・植付け密度と生残の関係について検討するために、植付け時から令和3年12月(24M)までのシュート数を整理した。
- ・密度試験も現地実証試験と同様に、令和2年台風9、10号による影響を大きく受けた(第29回委員会)。
- ・シュート数の推移で見ると、令和2年台風9、10号の前である令和2年6月(7M)までの生残は、岸側のTM01で約90%と高く、沖側のTM02では約60~70%、裸地のTM03では約60~80%であった。
- ・令和2年台風9、10号後となる令和2年9月(9M)までには、TM03では10%未満に急減したが、TM01は約40%に、TM02は約30~50%へとやや緩やかに減少した。
- ・その後、TM01では令和2年12月(12M)以降にシュート数が増加し、24か月後モニタリングでは約60~85%となった。TM02では、一時的に増加傾向を示したものの、令和3年6月(18M)には再び減少傾向となり、24か月後モニタリングでは約10~40%となった。TM03では、令和3年6月(18M)以後、1区画あたり60株の区画で再び増加し、24か月後モニタリングでは0~約20%となった。
- ・令和3年12月(24M)のシュート数は1区画あたり20株の区画で0~100%(平均22.1%)、40株の区画で0~116%(平均38.2%)、60株の区画で0~100%(平均33.5%)となった。

シュート数の推移



シュート数の推移
(植付け時を100%とした場合)



◆◇◇ 注1) 和3年12月(冬季)調査時の最小値から最大値の範囲を示す。

注2) エラーバーは平均値と最大値・最小値との差を示す。

注3) TM02のR3.4(16M)とR3.6(19M)は、混成株を除いて集計した。

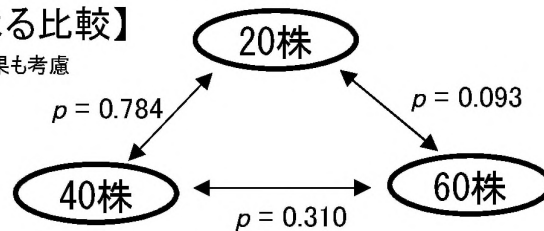
○シュート数の統計解析結果

- ・「植付け密度」と「地点」について、シュート数の残存割合(令和3年冬季モニタリング時のシュート数/植付け時のシュート数)を、一般化線形モデル※を用いて統計解析を行った。
- ・シュート数の残存割合を、植付け密度で比較したところ、密度による有意差はみられなかった。
- ・シュート数の残存割合を、地点間で比較したところ、TM01と02が03と比較して有意に大きく、TM01と02では有意差はみられなかった。

【植付け密度による比較】

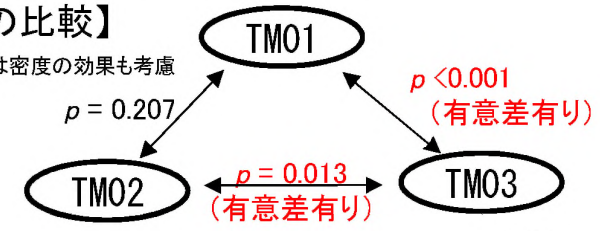
p 値の算出には地点の効果も考慮

注) 有意水準 p 値は一般的な0.05とし、 p 値が0.05を下回った場合、密度間、地点間の平均値に有意な差があるとする。

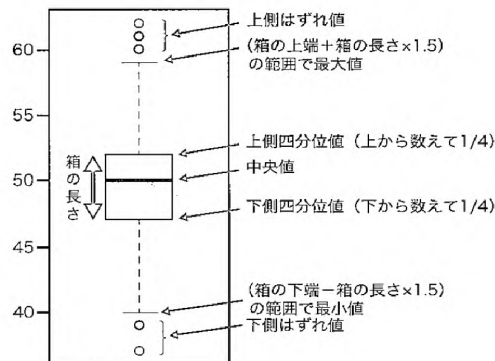


【地点間の比較】

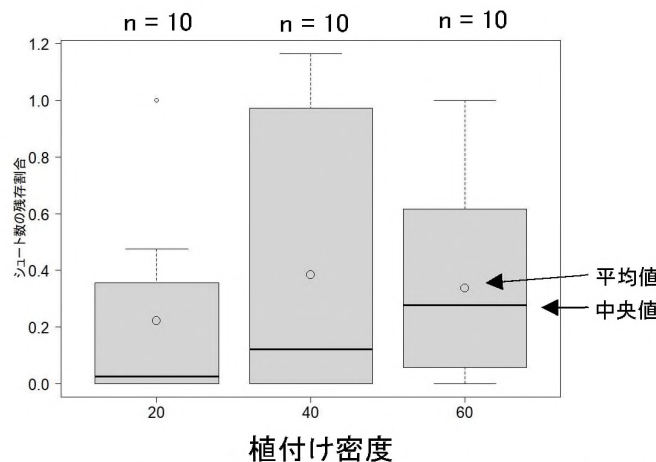
p 値の算出には密度の効果も考慮



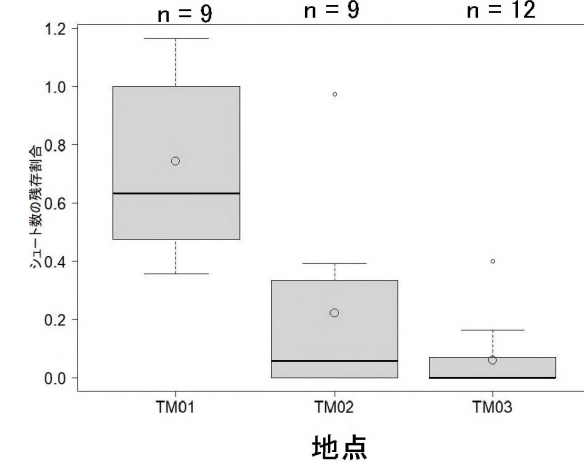
<箱ひげ図の見方>



出典: 統計学入門(阿部 2021)



注) 箱ひげ図の縦軸は、24M時点のシュート数の残存割合 (24Mのシュート数/植付け時のシュート数)



※一般化線形モデルによる解析(統計解析ソフトRを使用)

[応答変数]: 24か月後モニタリング時のシュート数 [説明変数]: 植付け密度、植付け地点、 \log (植付け時のシュート数)(オフセット項)

[誤差構造]: 負の二項分布 [リンク関数]: 対数

$\log(24Mのシュート数) = a \times 植付け密度 + b \times 植付け地点 + 誤差 + \log(植付け時のシュート数)$

このモデルについて「植付け密度同士」及び「地点同士」の多重比較を行い p 値を算出

【参考文献】

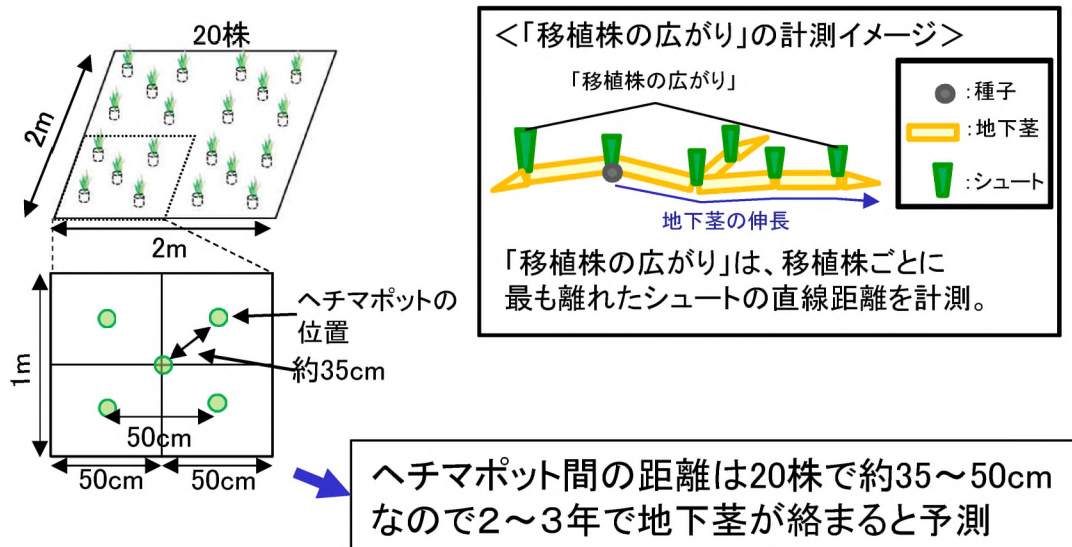
・下野(2010) Rを用いた一般化線形モデル(回帰係数編): カウントデータを例に. 雑草研究, 55:287-294.

・阿部(2021) 統計学入門

・Hothorn et al. (2008) Simultaneous inference in general parametric models. Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences, 50:346-363.

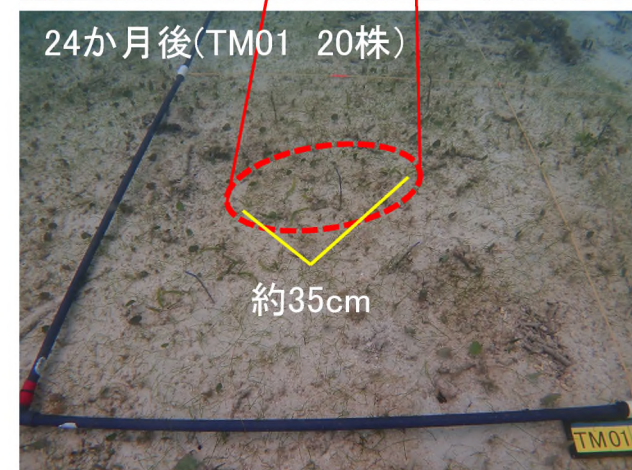
○地下茎の水平方向への伸長状況について

- ・リュウキュウスガモは、地下茎の伸長にあわせて上方にシュートを形成していくため、地表に露出したシュートの位置から地下茎の横方向への伸長状況を推測。
- ・裸地に植え付けたTS08では、横方向への伸長が1年あたり最大38～42cm、平均20～26cmに相当し、文献によると他海域の天然藻場においても、1年あたり20～56cm※とされていることから、TS08の結果は天然藻場と同程度の伸長と考えられた(第35回委員会)。
- ・密度試験においても、シュートの増加がみられた移植株の「移植株の広がり」は、2年間で1区画あたり20株の区画が6～36cm(平均19.5cm)、40株の区画が6～36cm(平均16.6cm)、60株の区画が3～58cm(平均17.4cm)で、TS08や天然藻場と同程度であった。



⇒ 植付け密度によりシュート数の残存割合やシュート伸長に差がほとんどみられなかったことから、年間に得られる種子が限られる中で、豊原海域においては、より広い範囲に植付けが可能な1区画(2m×2m)あたり20株による植付けを実施する方針。

※ 天然藻場における地下茎の伸長を参照した文献(第35回委員会)
Mariba and Duarte (1998) [パプアニューギニア等]、Vermaat et al. (1995) [フィリピン]、Rollon et al. (2001) [フィリピン]、Saunders et al. (2015) [オーストラリア]



現地実証試験における 最終評価（豊原海域）

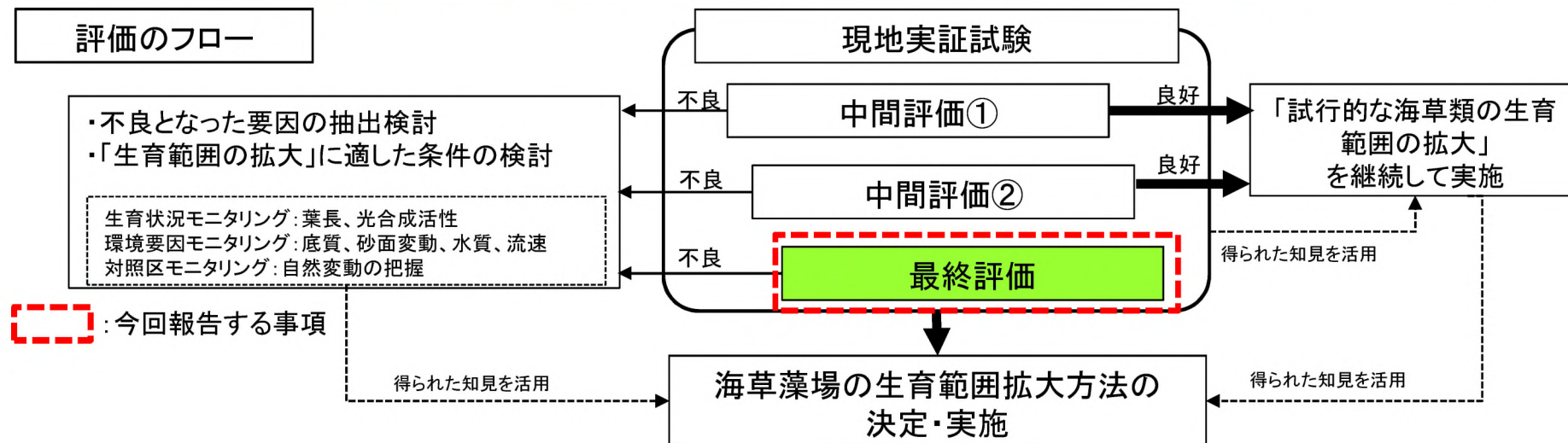
○現地実証試験のとりまとめ及び最終評価について

- ・現地実証試験は、環境保全措置である「海草藻場の生育範囲拡大」の植付け手法の検討および植付けに適した環境の検討を行う目的で実施している。
- ・豊原海域については、中間評価において生存率やシュート数から移植株の不良の要因等について検討を行った。最終評価は令和3年度冬季までの結果をもとに実施し、シュート数等の増加を中心に、その他考慮事項等も含めて各地点を評価した。また、さらなる植付け地点を検討する際の環境条件となり得るものについて環境要因モニタリング等の結果から検討した。
- ・嘉陽海域については豊原海域と同様のモニタリング調査を継続しており、令和4年度に最終評価を実施する予定。

評価項目一覧

評価時期	評価項目	生残率	バイオマス	その他考慮事項	進捗状況	
					豊原海域	嘉陽海域
中間評価①移植株の維持 (植付け～約1年後)		● (目視生残率)			実施済	実施済
中間評価②移植株の拡大 (約1～2年後)		● (目視+埋没株の確認による生残率)	● (シュート数)		実施済	今回報告
最終評価 安定 (約2～3年後)			● (シュート数等)	開花・結実状況 他の海草の生育状況	今回報告	実施予定

評価のフロー



○現地実証試験 植付け手法の検討について

①植付け対象種について

- ・地下茎の匍匐深度が深いリュウキュウスガモを植え付けることで、地盤がより安定することにより、加入してきたその他の海草類の定着を促進し、混生する藻場として拡大していくことが期待できる(第14回、第30回委員会)。
- ・リュウキュウスガモ以外の海草類は、種子採取や安定的な種苗の生産が困難であった(第30回委員会)。
- ・中間評価②でシュート数が増加した地点では、植付け36か月後までにはリュウキュウスガモと他の海草類との混生が確認された。

⇒リュウキュウスガモによる植付けを実施する。

②植付け種苗の生産方法について

- ・ヘチマポットによる植付け手法は有効であったため、これまでどおり冬季から春季に嘉陽海域でリュウキュウスガモの種子を採取し、種子を乾燥ヘチマに詰めた種苗を生産する(第29回委員会)。

⇒ヘチマポットによる種苗の生産と植付けを実施する。

③植付け時期について

- ・植付け時期(冬季、夏季)の違いによる差はほとんどみられなかったことから、植付けに適した時期は冬季に限られないものと判断した(第34回委員会)。

⇒冬季の植付けを基本としつつ、生育状況に応じて冬季以外の植付けを実施する。

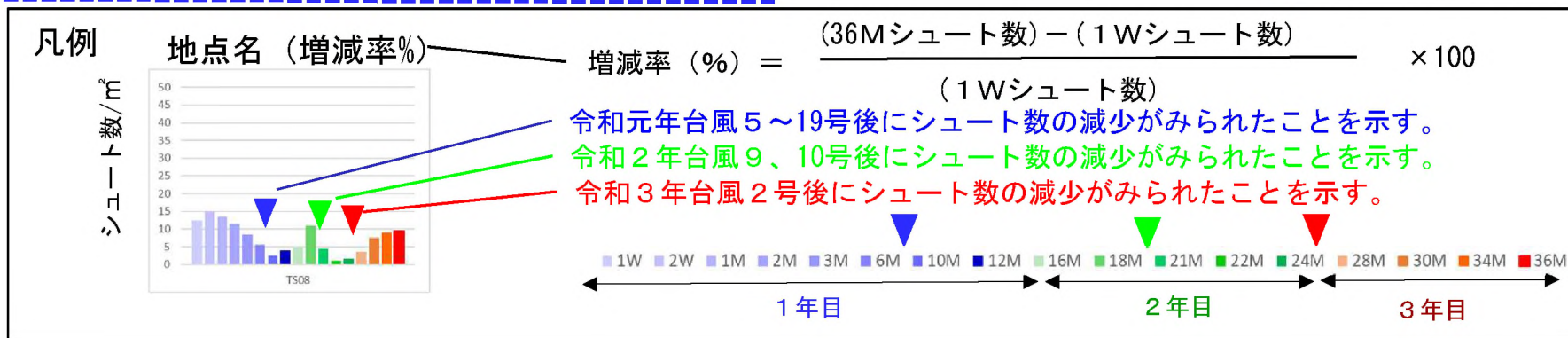
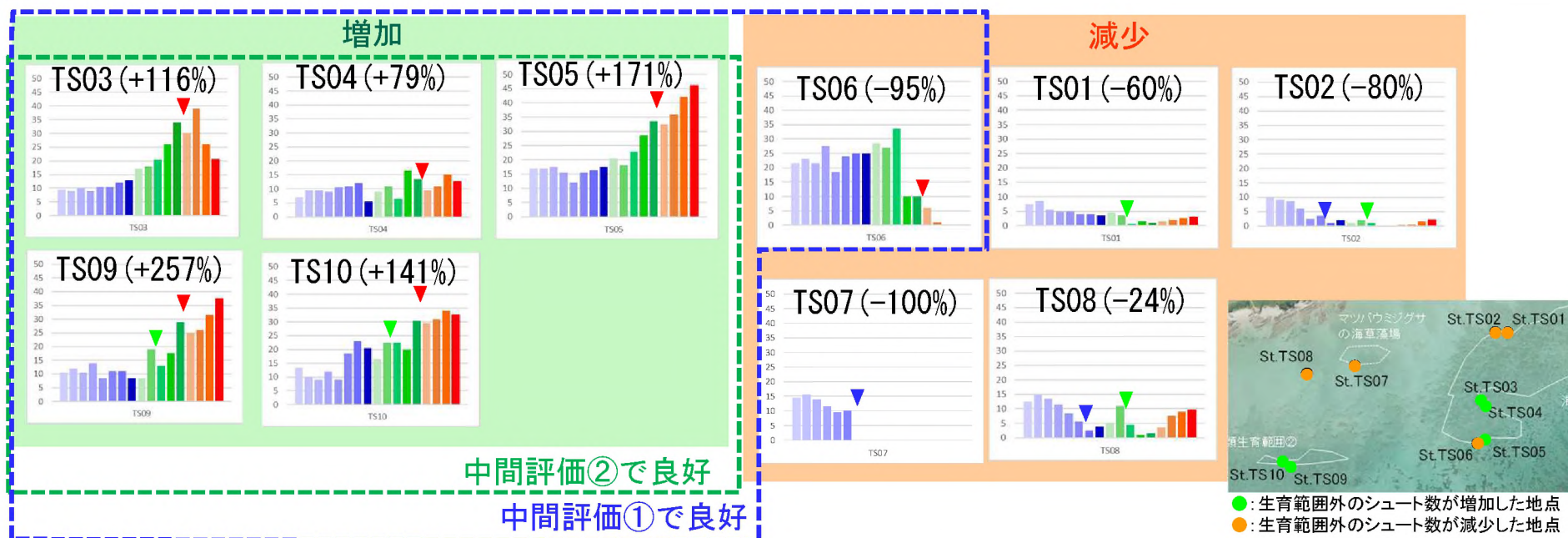
④植付け密度について

- ・植付け密度によってシュート数やシュート伸長に差はほとんどみられなかった。

⇒豊原海域においては、1区画(2m×2m)あたり20株による植付けを実施する方針。

○シュート数の経年変化について

- ・ 36か月後モニタリングまでの単位面積あたりのシュート数の経年変化と、中間評価②で示した生育範囲外におけるシュート数の増減率（植付け1週間後を±0%とする）から、各地点を増加、減少に区分した。
- ・ シュート数が増加した地点では、令和元年台風後に減少がみられず、令和2年台風後や令和3年台風後の減少幅も小さい傾向にあったが、シュート数が減少した地点では、令和元年台風後や令和2年台風後に減少がみられ、減少幅も大きい傾向にあった。
- ・ これらの傾向は、中間評価②から継続している。



⑤各地点のリウキュウスガモの生育状況について(36か月後の冬季調査時の結果)

○シュート数

・シュート数は、植付け時から比較して TS03、04、05、09、10で**増加**、TS01、02、06、07、08で**減少**であった。

○地上部の葉体の量(葉長の合計値)

・バイオマス把握のため生育範囲外のシュートの葉長を計測した結果、葉長の合計値がTS03、05、09、10の4地点で600cm以上、他の地点で約200cm以下であり、大きく2つのグループに分けられた。

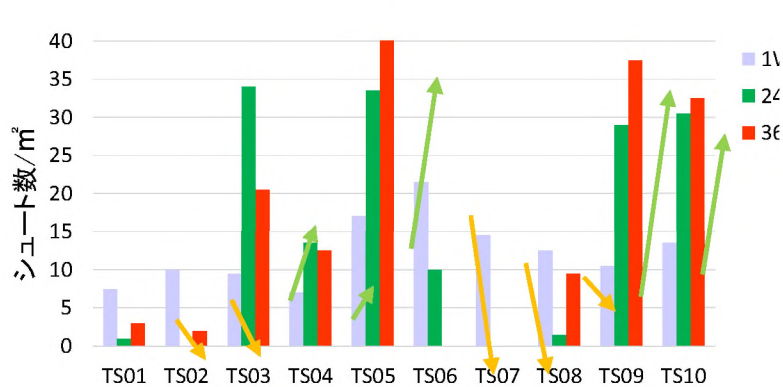
・葉長の合計値はシュート数の合計値と強い相関がみられたため、シュート数の合計値でもバイオマスを把握することが可能と考えられた。

○他の海草の生育状況

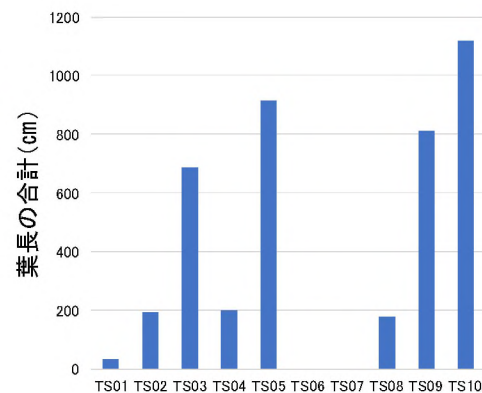
・生育範囲外のシュート数が**増加**した5地点(TS03、04、05、09、10)では、リウキュウスガモ以外の海草の種類が増加しており、TS03で4種類、TS04で2種類、TS05、09、10で3種類、それぞれ増加していた(第36回委員会)。

○開花・結実状況

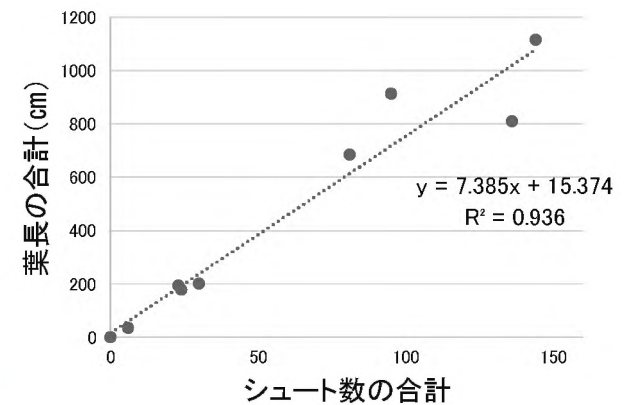
・シュート数が**増加**と区分された地点のうち、TS04、05、09で開花や結実が確認された(第36回委員会)。



各地点の1m²あたりのシュート数の推移



各地点の葉長の合計 (cm)



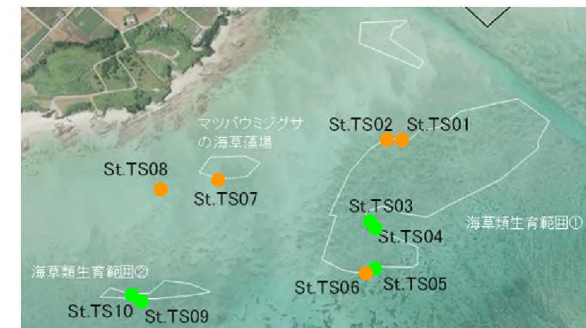
シュート数の合計と葉長の合計の関係

○調査結果のまとめ(36M)

- ・シュート数は、TS03、04、05、09、10で植付け時から増加しており、この5地点を植付けに適している地点と評価した。
- ・地上部の葉長の合計値、他の海草の生育状況及び開花・結実についてもあわせて以下の表に示す。

評価項目		TS01	TS02	TS03	TS04	TS05	TS06	TS07	TS08	TS09	TS10
バイオマス	シュート数 (植付け時からの増加率)	-60%	-80%	+116%	+79%	+171%	-95%	-100%	-24%	+257%	+141%
	地上部の葉長の合計値	35.3cm	194.6cm	685.7cm	200.6cm	913.8cm	シュートなし	シュートなし	178.4cm	810.3cm	1115.8cm
その他考慮事項	他の海草の生育状況 (種類数)	0種類	5種類	4種類	2種類	3種類	0種類	0種類	0種類	3種類	3種類
	開花・結実の有無	なし	なし	なし	開花あり	開花あり 結実あり	なし	なし	なし	結実あり	なし

⇒豊原海域については、生育状況から植付けに適していると評価した5地点(TS03、04、05、09、10)の近傍を植付け候補地とする。



- : 生育範囲外のシュート数が増加した地点
- : 生育範囲外のシュート数が減少した地点

○現地実証試験 植付けに適した環境条件について

⑥リュウキュウスガモの生育に係る環境条件について

【生育状況が不良な地点の環境条件】

- ・今後の「生育範囲の拡大」に適した植付け場所の選定にあたっては、移植株の生育状況が不良な地点の環境条件を抽出し、そのような環境条件を満たす場所を除外する必要があると考えられることから、豊原海域の最終評価において生育範囲外のシュート数が増加した地点と減少した地点の環境条件を整理した(巻末資料p48)。
- ・また、参考として、嘉陽海域の中間評価②で、目視+埋没株の確認による生残率が高い地点と低い地点の環境条件も整理した(巻末資料p52)。
- ・整理の結果、豊原海域で生育範囲外のシュート数が減少した5地点(TS01、02、06、07、08)の環境条件として下表に示す項目が抽出された。

項目	豊原海域で生育範囲外のシュート数が減少した5地点(TS01、02、06、07、08)の環境条件	
位置関係	<ul style="list-style-type: none"> ・リュウキュウスガモの生育範囲の岸側縁辺部 ・周辺にリュウキュウスガモの海草藻場が存在しない裸地 	
藻場構成種	小型海草類※のみ生育	
物理的項目	水深(D.L.)	-2.0m、-1.5~-1.3m
	底質概観	<ul style="list-style-type: none"> ・礫分が45% ・転石・岩盤が4%
	高波浪時の底質の動き	<ul style="list-style-type: none"> ・最大侵食量が5.9cm以上 ・再堆積量が6.4cm以上



- : 生育範囲外のシュート数が増加した地点
- : 生育範囲外のシュート数が減少した地点

※TS06は1年目までの目視生残率は良好であったが(第29回委員会)、2年目及び3年目のシュート数が減少した地点である。

※豊原海域試験区では、ウミジグサ類及びウミヒルモ類が確認されている。

- ・上記の環境条件のうち、豊原海域と嘉陽海域で共通する特徴として、リュウキュウスガモが生育していない範囲であること、台風等の高波浪時における底質の侵食量及び堆積量が大きいことが挙げられる。
- ・また後述のとおり、リュウキュウスガモ及び小型海草類の生育状況と底質の状況を検討した結果、リュウキュウスガモのシュート数が継続的に増加している地点では、砂層厚の変動がほとんどない傾向がみられた一方で、リュウキュウスガモのシュート数が減少しているが、他の海草種の種類数が増加していたTS02では、徐々に砂層厚が増加している傾向がみられた(p31)。
- ・以上のことから、底質の侵食量及び堆積量が大きな環境では移植株の流失や埋没により生残率が低下し、生育状況にも影響を及ぼすものと考えられる。また、リュウキュウスガモが生育せず、小型海草類のみ生育する環境では砂面高が上昇傾向にある可能性が示唆され、移植株の生育には適さない可能性も考えられた。今後の「生育範囲の拡大」に適した植付け場所の選定にあたっては、このような環境条件を満たす場所を除外して選定を行う必要があると考えられた。

【生育状況が良い地点の環境条件】

- ・豊原海域の最終評価において生育範囲外のシュート数が増加した5地点(TS03、04、05、09、10)の環境条件を下表に示す。
- ・今後の植付け場所の選定にあたっては、⑤で示した「生育範囲外のシュート数が増加した5地点の近傍」及びこれら以外の海域に植付け候補地を選定し、現地踏査を行った後、植付け区画を設定することとしている(第36回委員会)。この現地踏査において確認する環境条件及びその設定根拠等を下表に併せて示す。
- ・なお、現地踏査は水深と高波浪時のシールズ数よりその範囲を絞り込み、現地にてその他の環境条件を確認することとする。水深と高波浪時のシールズ数によって絞り込んだ現地踏査の範囲を次頁以降に示す。

項目	豊原海域で生育範囲外のシュート数が増加した5地点(TS03、04、05、09、10)の環境条件	現地踏査範囲設定の環境条件(☆)及び現地踏査において確認する環境条件(○)		環境条件の設定根拠等	
位置及び周辺の状況	リュウキュウスガモの生育範囲の沖側縁辺部	・リュウキュウスガモの生育範囲の縁辺部 ・リュウキュウスガモが生育している(小型海草類の単一藻場ではない)	☆ ○	生育範囲外のシュート数が増加した地点と減少した地点の環境条件の比較結果より、適した環境条件として設定。	
物理的項目	水深(D.L.)	-1.7~-1.6m	-1.5~-2.0m	☆	生育範囲外のシュート数が減少した5地点の水深より、-1.5m以浅及び-2.0m以深を除く範囲とする。
	砂層厚	6.5~14.4cm	7cm以上	○	生育範囲外のシュート数が増加した5地点の計測値に準拠。
	底質概観	・砂分が81%以上 ・礫分が19%以下 ・転石・岩盤なし	・砂分が約80%以上 ・礫分が約20%以下 ・転石・岩盤なし	○	生育範囲外のシュート数が増加した5地点の観測値に準拠。
	底質の中央粒径	0.472~0.890mm	0.9mm以下	○	生育範囲外のシュート数が増加した5地点の計測値に準拠。
	高波浪時の底質の動き	・最大侵食量3.8cm以下 ・再堆積量3.2cm以下	-	-	ある程度の期間のモニタリングが必要になるため、シールズ数を代替の環境条件とする。
	高波浪時のシールズ数	0.2~0.3 ^{注)}	0.3以下	☆	生育範囲外のシュート数が増加した5地点の計算結果に準拠。

注) 令和3年台風2号接近時において、各モニタリング調査地点と近い位置に設置された流向流速計の値を用いて計算したシールズ数の最大値を示す。

計算に用いた流向流速計・底質粒径、観測日時は以下のとおり。

TS03: St.bの流速データ・底質粒径0.562mm・令和3年4月24日 5:00

TS04: St.bの流速データ・底質粒径0.567mm・令和3年4月24日 5:00

TS05: St.cの流速データ・底質粒径0.890mm・令和3年4月24日 6:00

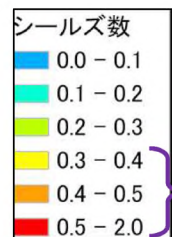
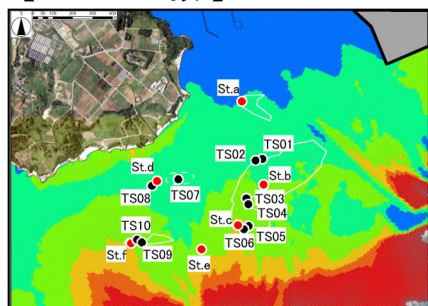
TS09: St.fの流速データ・底質粒径0.472mm・令和3年4月24日 3:00

TS10: St.fの流速データ・底質粒径0.550mm・令和3年4月24日 3:00

○現地踏査範囲に係る環境条件の抽出

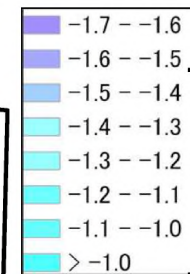
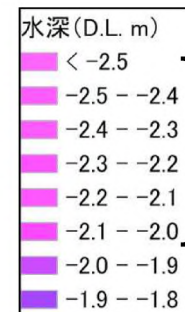
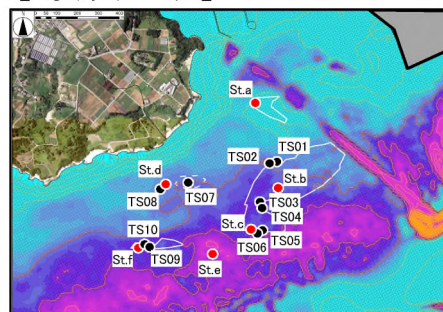
・シミュレーションによる高波浪時(令和3年4月)のシールズ数および水深(巻末資料p53)から、現地踏査範囲の環境条件を抽出した(下図)。

【シールズ数】



下図で紫で塗りつぶし

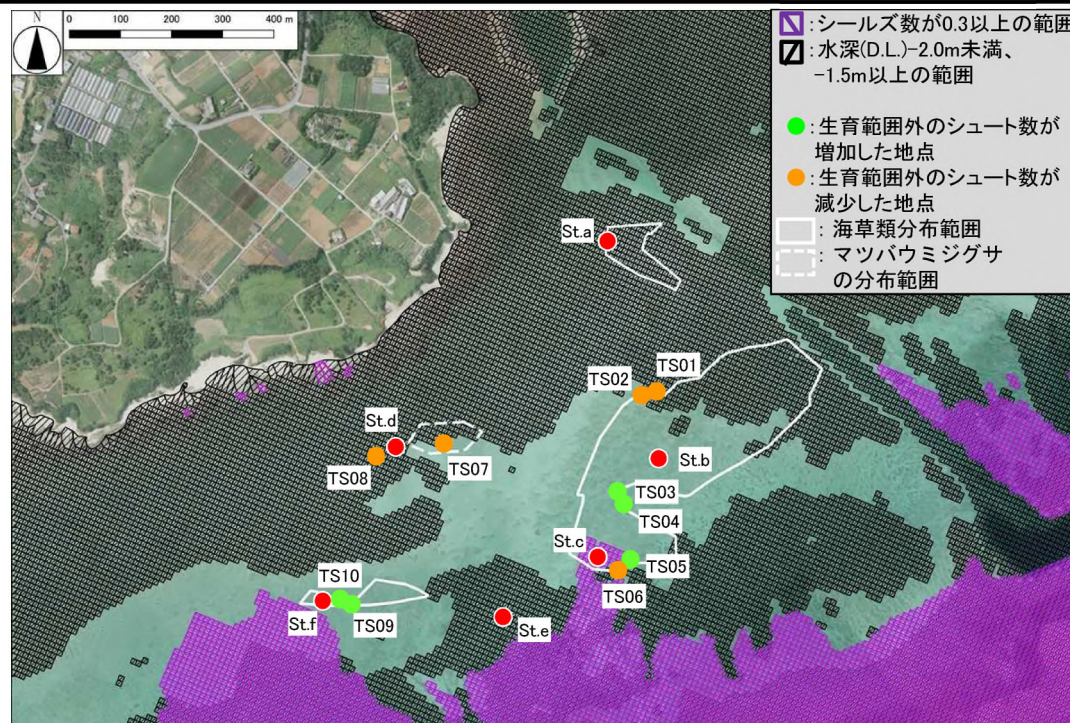
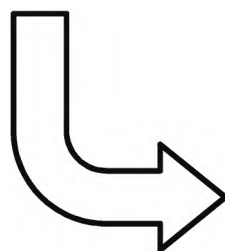
【水深(D.L.)】



下図で黒で塗りつぶし

・流況調査結果・ナウファス中城湾港の波高データを用いて、台風2号来襲時(令和3年4月)のシールズ数を算出した。
 ・現地踏査範囲設定の環境条件は、生育状況が良い地点の環境条件から、シールズ数を0.3以下とした。

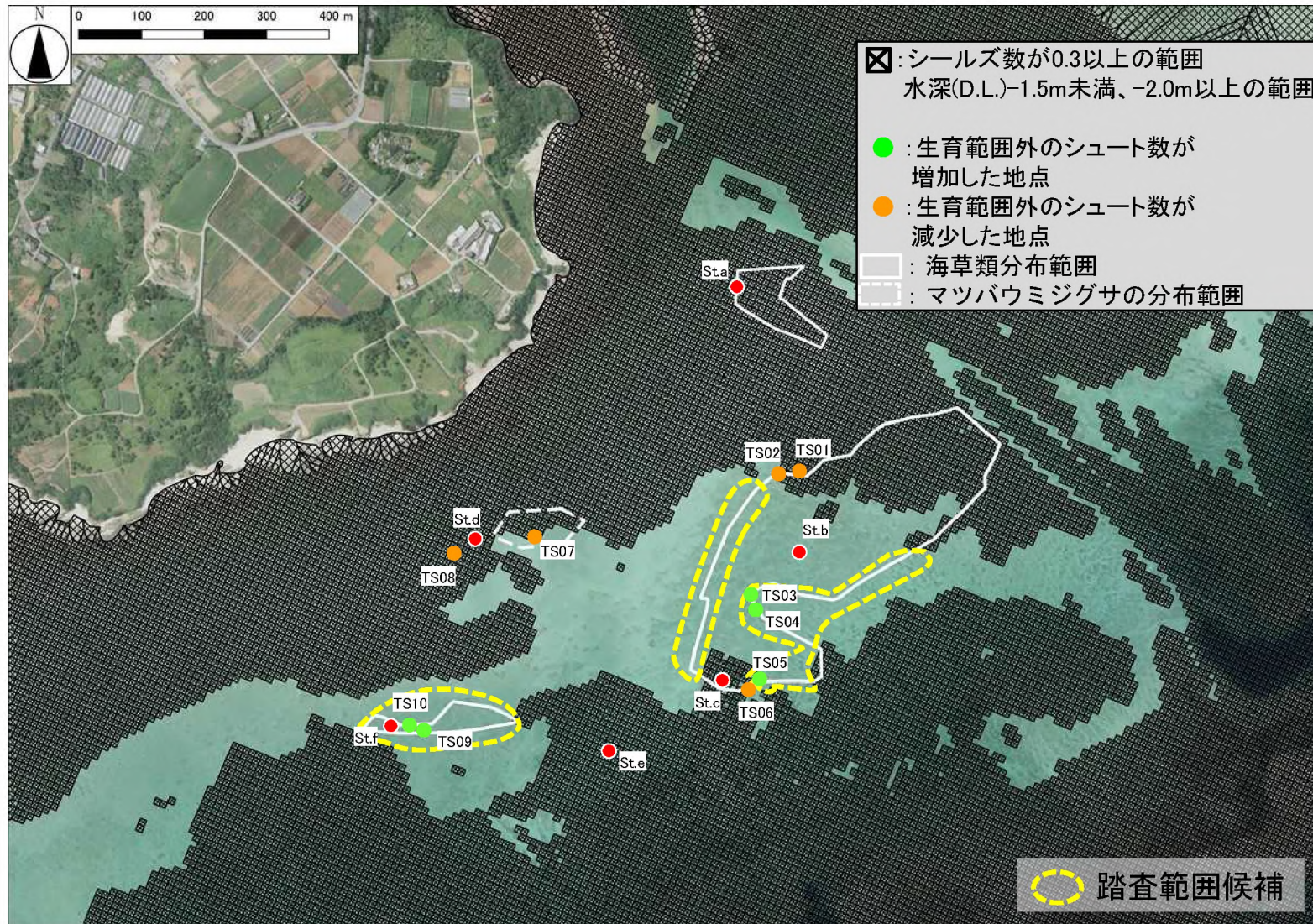
・「平成26年の測量結果より水深図(10m格子)を作成した。
 ・現地踏査範囲設定の環境条件は、生育状況が良い地点の環境条件から、水深(D.L.)を-2.0~-1.5mとした。



抽出した環境条件の範囲

○現地踏査範囲の設定

- ・現地実証試験の結果(⑤)、流況調査結果等を用いて算出したシールズ数のシミュレーション結果、水深(D.L.)及び海草藻場の分布状況(⑥)から踏査範囲を設定した。
- ・今後は現地踏査を実施し、植付け区画を設定していく方針。



海草類の生育状況と砂層厚の状況について

○第36回委員会における海草藻場の生育範囲拡大に関する指導・助言事項への対応

- ・第36回委員会(令和4年2月22日開催)において、植付けしたリュウキュウスガモ以外の海草種の出現状況の推移(豊原海域における観察枠での状況)を整理する中で、リュウキュウスガモのシュート数が減少していた5地点のうち、TS02のみは、他の海草種の種類数が増加している結果を示した(第36回委員会 資料4 p13)。
- ・これについて、「小型海草などでは根の深度が浅く、砂層の厚さのような観点から説明できるのではないか」との意見があり、「植付け適地の選定の検討にあたり、リュウキュウスガモの生育状況と砂層の状況などを整理すること」との指導・助言を受けた。
- ・これに対応するため、モニタリング回次ごとの砂層厚を推定(図1)し、リュウキュウスガモのシュート数や他の海草種の種類数の推移について整理、考察を行った。
- ・リュウキュウスガモのシュート数が減少しているものの、他の海草種の種類数が増加していたTS02では、徐々に砂層厚が増加している傾向にあり、近傍地点のTS01では、砂層厚が減少傾向に転じた後に他の海草種の種類数が減少しているなど、その他の海草種の生育状況は、これら砂面変動の影響を受けていることがうかがえた(図2)。
- ・一方、リュウキュウスガモのシュート数が継続的に増加している地点では、砂層厚の変動がほとんどない傾向がみられ、砂面変動が少ない場所がリュウキュウスガモの生育に適していることがうかがえた(図6)。よって、植付け適地も同様の環境であると改めて裏付けられたことから、最終評価で整理した方針に沿って海草藻場の生育範囲拡大を進めていく考え。

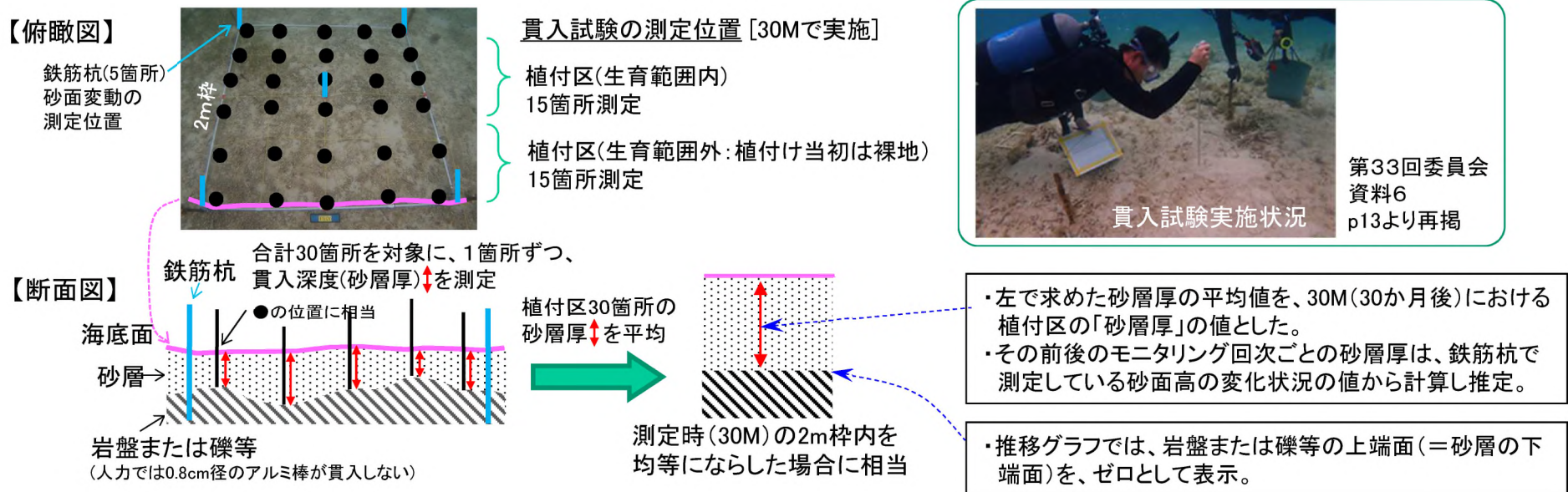


図1 植付区における砂層厚の算出と推定方法

○リュウキュウスガモのシュート数が減少した地点について(1)

- ・リュウキュウスガモのシュート数が減少した5地点のうち、裸地であり他の海草種が出現しなかったTS08以外の4地点について、海草類の生育状況と砂層厚の推移を整理した。
- ・隣接した地点間(TS01とTS02)を比較すると、砂層厚が減少傾向にあったTS01では小型海草種が一時的に消失していたが、砂層厚が増加傾向にあったTS02では小型海草種が増加していた(図2)。

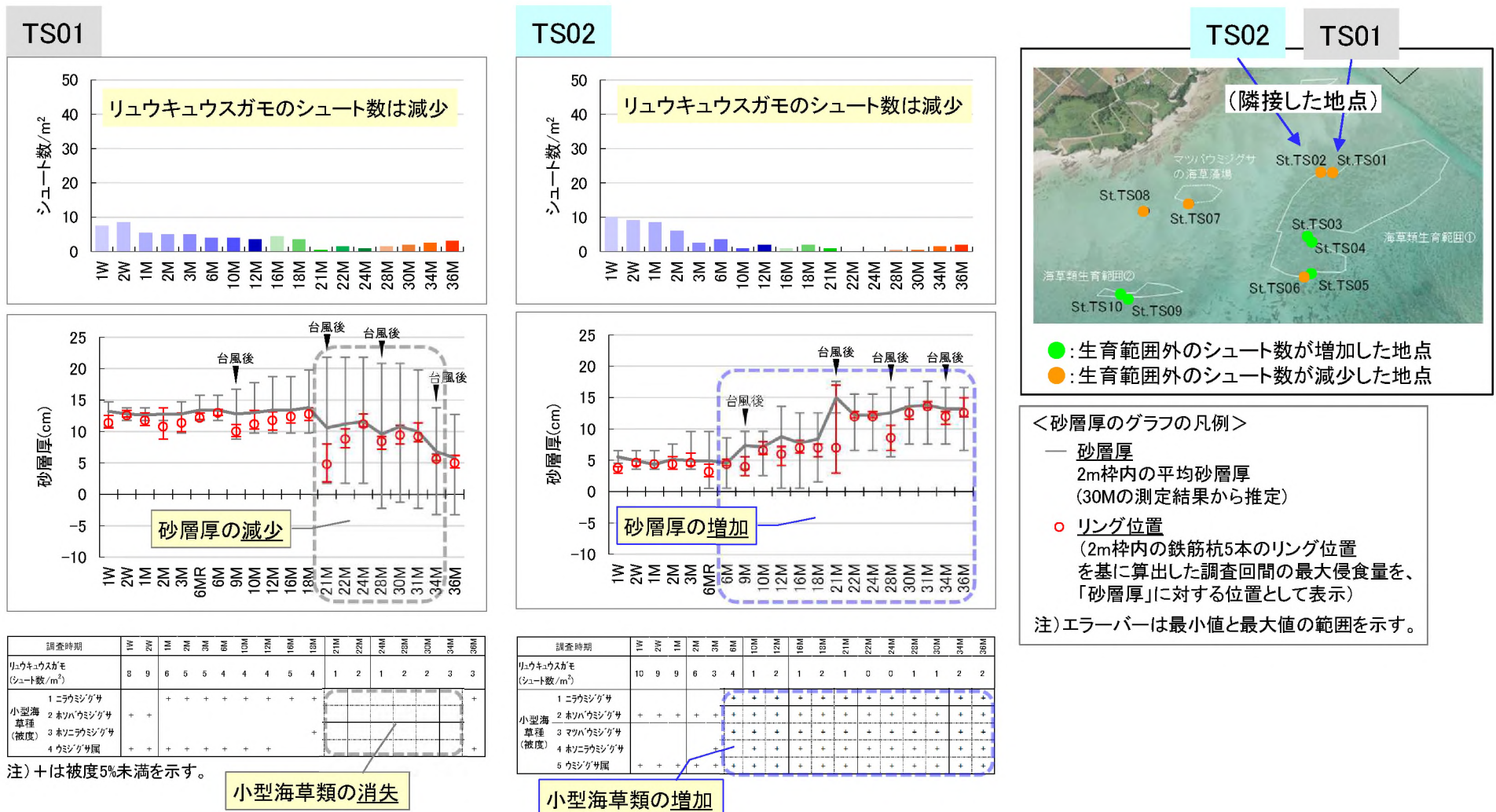
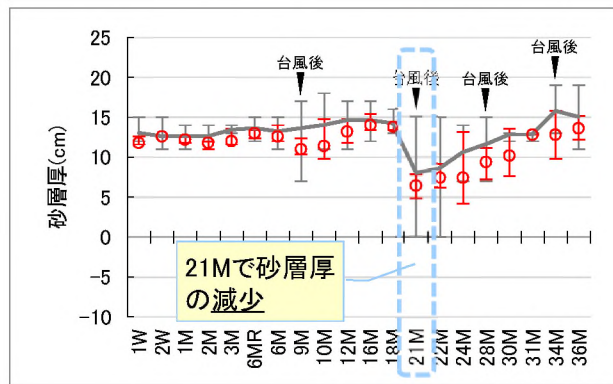
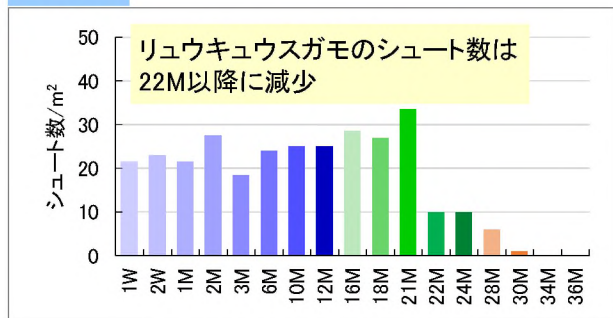


図2 海草類の生育状況と砂層厚の推移(TS02、TS01)

○リュウキュウスガモのシュート数が減少した地点について(2)

- ・TS06では、砂層厚が顕著に減少した21Mに小型海草類が消失しており、その後も回復していない(図3 左側)。
- ・TS07では、砂層厚の顕著な減少は28Mと34M以降に生じているが、それぞれの時期で小型海草類が減少または消失している。(図3 右側)。

TS06

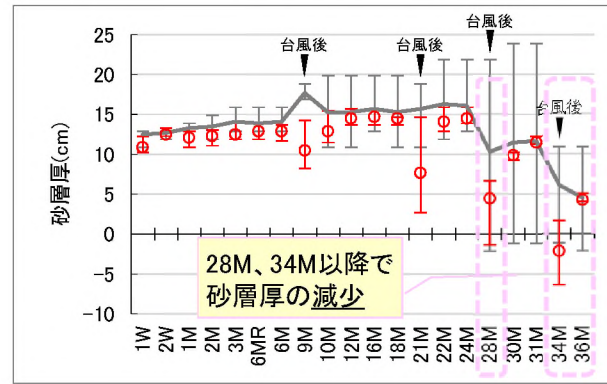
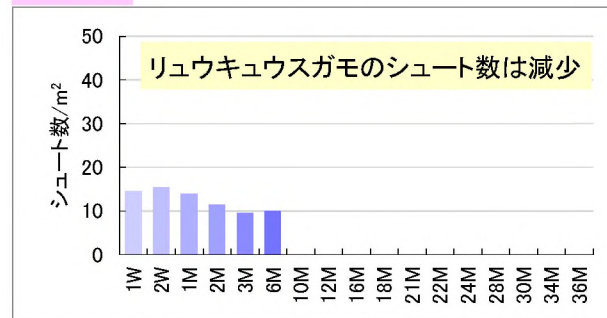


調査時期	1W	2W	1M	2M	3M	6M	10M	12M	16M	18M	21M	22M	24M	28M	30M	34M	36M
リュウキュウスガモ (シュート数/m²)	22	23	22	28	19	24	25	25	29	27	34	10	10	6	1	0	0
小型海草種 (被度)																	
1 ホソバウミシダ																	
2 マツバウミシダ																	
3 ウミシダ属																	

注) +は被度5%未満を示す。

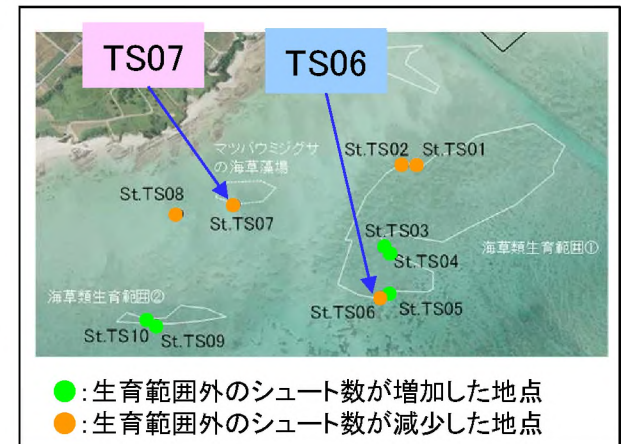
21Mに小型海草類の消失 (その後も回復していない)

TS07



調査時期	1W	2W	1M	2M	3M	6M	10M	12M	16M	18M	21M	22M	24M	28M	30M	34M	36M
リュウキュウスガモ (シュート数/m²)	15	16	14	12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
小型海草種 (被度)																	
1 ホソバウミシダ																	
2 マツバウミシダ																	
3 ウミシダ属																	

28Mで小型海草類の減少 34Mで小型海草類の消失



<砂層厚のグラフの凡例>

- 砂層厚
2m枠内の平均砂層厚 (30Mの測定結果から推定)
- リング位置
(2m枠内の鉄筋杭5本のリング位置を基に算出した調査回間の最大侵食量を、「砂層厚」に対する位置として表示)

注) エラーバーは最小値と最大値の範囲を示す。

図3 海草類の生育状況と砂層厚の推移(TS06、TS07)

○リュウキュウスガモのシュート数が減少した地点について(3)

- ・前述の、砂層厚の推移に対する小型海草類の増加または減少については、以下の観点で説明できると考えられる。
- ・O' Brien et al. (2018) によると、リュウキュウスガモなどの大型海草類は攪乱に対して抵抗することによって生き残る戦略、ウミヒルモ類やウミジグサ類などの小型海草類は攪乱に対して早く回復することによって生き残る戦略をとっている(図4)。そのため、リュウキュウスガモは攪乱に対する抵抗力が強い反面、回復に要する時間が長く、ウミジグサ類を含む小型海草類は攪乱に対する抵抗力が弱い反面、回復に要する時間が短いといった違いがある。
- ・砂層厚が増加傾向であったTS02では、リュウキュウスガモは埋没後に葉を伸長するよりも速く砂層厚が増加したためにシュート数が減少し、小型海草類は砂層厚の増加よりも速く葉を伸長することができたために種類数が増加したものと推察される。
- ・また、砂層厚の減少については、地下茎の伸長位置が海底面から浅く(図5)、数cm程度の侵食が生じると地下茎ごと流出し、草体自体がなくなってしまうことから、小型海草類の消失が生じ、その後の回復もみられなかったものと推察される。
- ・これらの状況から、小型海草類の生育状況は、砂層厚(砂面変動)に大きく影響されている状況にあるものと考えられる。

出典: O' Brien et al., 2018. Seagrass ecosystem trajectory depends on the relative timescales of resistance, recovery and disturbance, Marine Pollution. 134: 16-176.

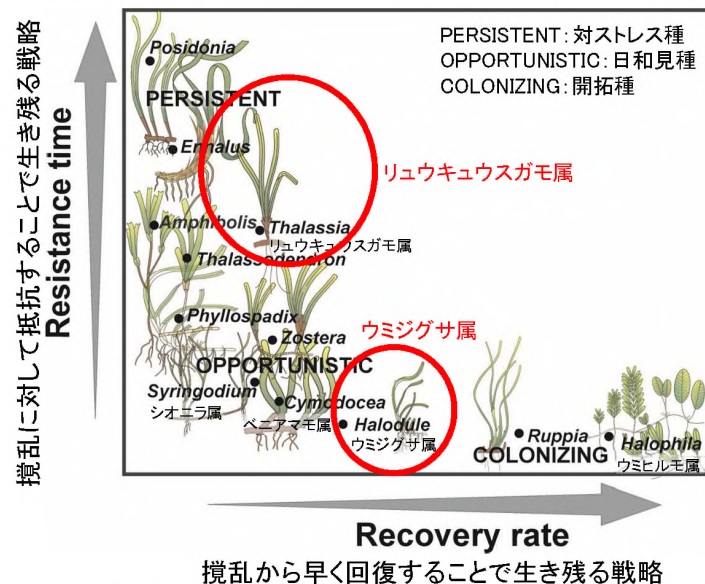


図4 海草類の生活史戦略(O' Brien et al., 2018)の要旨図

出典: https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0025326X17307415-fx1_lrg.jpg

注) 海草類の生活史戦略とは、海草類がストレスや攪乱に順応して、生存率を向上させたり多くの子孫を残したりするためにとる戦略のこと。

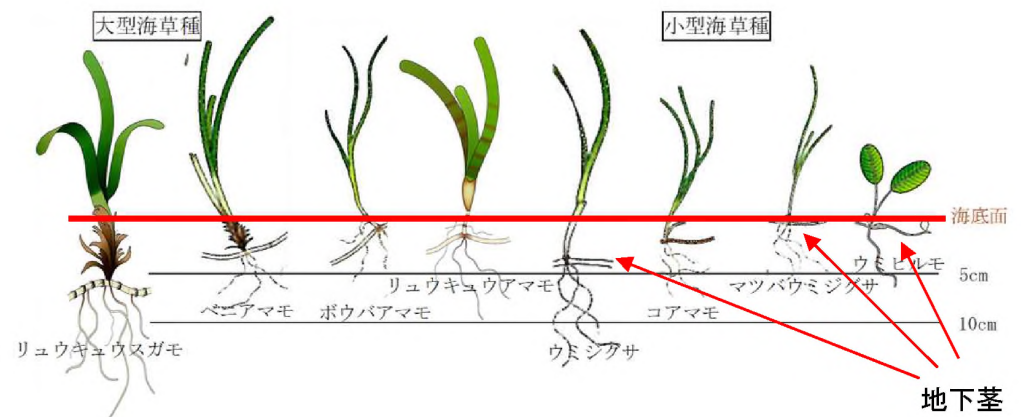


図5 海草類の大きさの比較

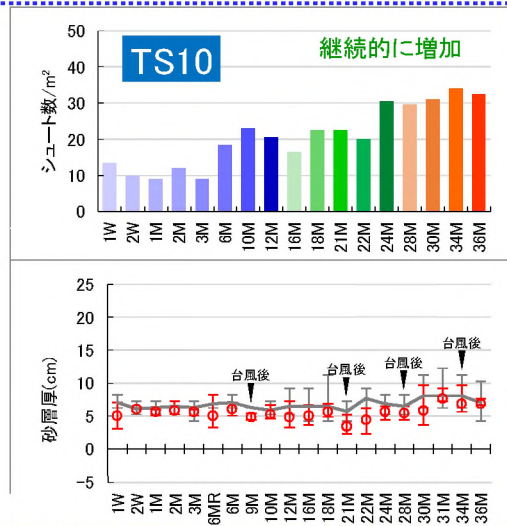
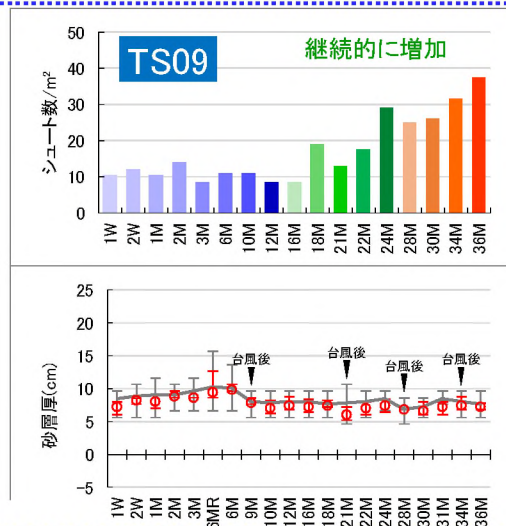
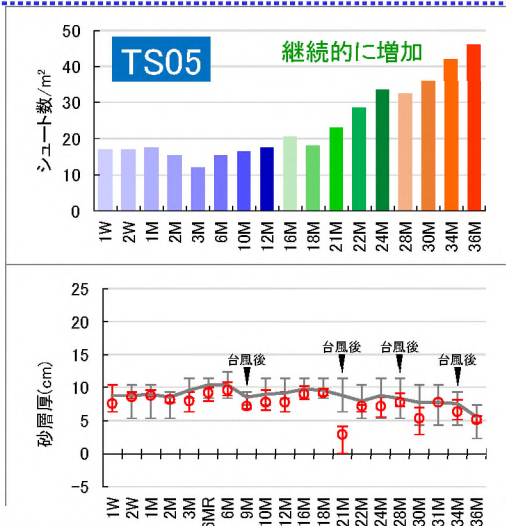
出典: 第14回委員会資料

○リュウキュウスガモのシュート数が増加した地点について

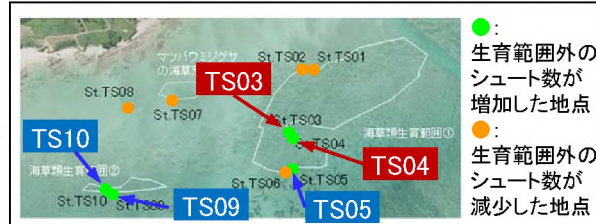
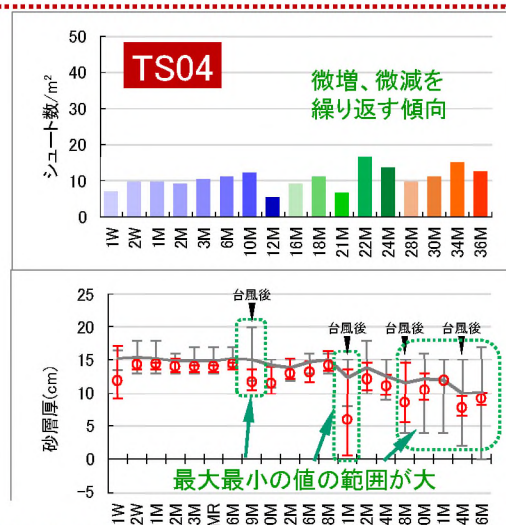
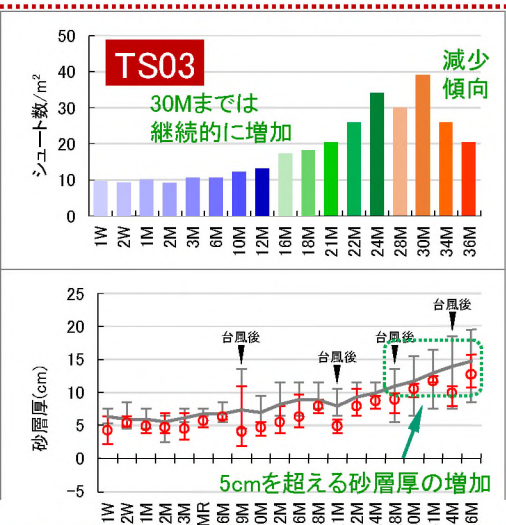
- ・リュウキュウスガモのシュート数が増加した5地点について、シュート数と砂層厚の推移を整理した。
- ・植付け時からシュート数が増加した地点の中でも、継続的に増加した3地点(TS05、09、10)では、砂層厚やリング位置の変動は概ね5cm以内という小さい傾向が共通してみられた(図6 上段)。
- ・増加が継続的ではない2地点(TS03、04)では、砂層厚について、5cmを超える増加や、最大最小の値の範囲が大きい傾向がみられた(図6 下段)。

生育範囲外のシュート数が増加した地点

継続的に増加した地点



増加が継続的ではない地点



<砂層厚のグラフの凡例>

- 砂層厚
2m枠内の平均砂層厚(30Mの測定結果から推定)
- リング位置
(2m枠内の鉄筋杭5本のリング位置を基に算出した調査回間の最大侵食量を、「砂層厚」に対する位置として表示)

注) エラーバーは最小値と最大値の範囲を示す。

図6 シュート数と砂層厚の推移 35