

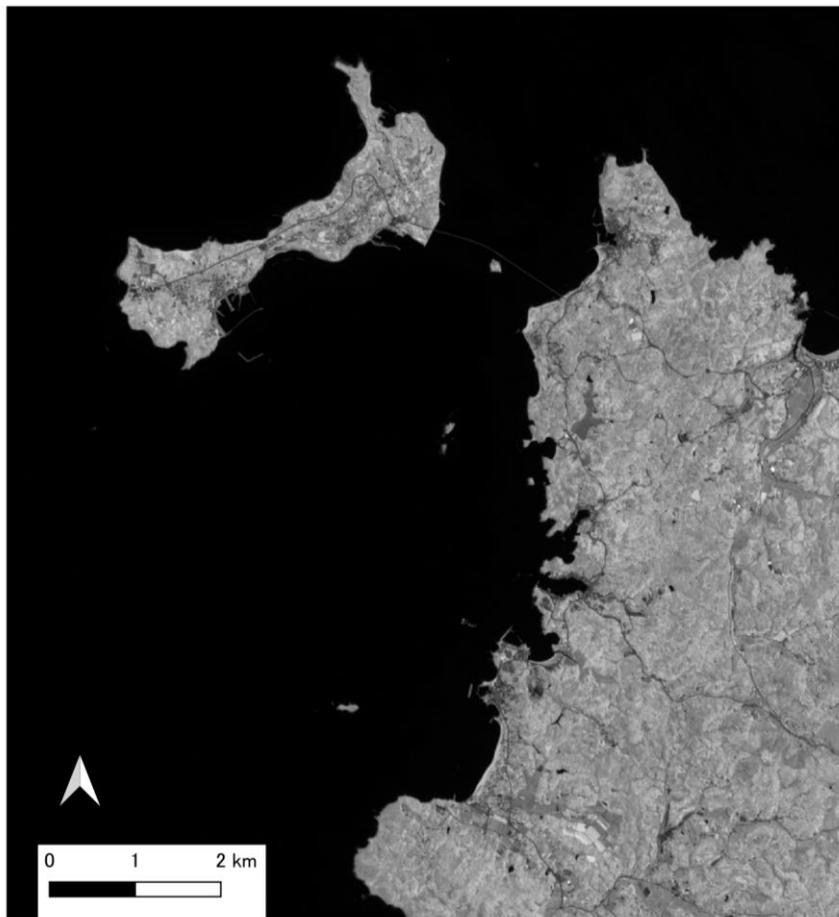
藻場マッピング手法

- SPOT6およびSPOT7衛星の取得するマルチバンド画像（地上分解能6mx6m）を用いた
- 画像解析ツールQGIS3.24による藻場分類を行った。
- ドロップカメラにより得られた写真に藻場などの底質の情報をもとにGround truth(現場検証)データを作成し、分類結果の精度を評価した。
- 2021年5月6日撮影のSPOT6衛星マルチバンド画像と2022年5月4日撮影のSPOT7衛星マルチバンド画像を取得した。

衛星画像解析

- 下関市特牛地先の衛星画像は、RGBおよびNIRの各バンドごとの各ピクセルのDigital NumberをTOAにおける輝度値（radiance ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$ ））に変換した(Airbus, 2022年7月参照)
- 得られた輝度値に対してBand minimumを用いたDark Subtractionを用い大気の影響を除いた
- NIR（近赤外バンド）は、海水により吸収され、陸域よりも値が小さくなることを利用し、陸域をマスクした

陸域のマスク



2020年5月8日撮影のSPOT7衛星画像の近赤外画像をもとに作成した陸域マスク

2020年5月5日は、2021年5月6日のSPOT6衛星画像、2022年5月4日のSPOT'衛星画像取得時よりも潮位が低く、潮下帯にある藻場の抽出には最適

水柱補正 (DII)

- 海水中を光が進むと、海水中に分布する物質により、吸収、散乱が生じる
- その結果、水深が深くなると海底で反射し、衛星の光センサーに届く光は弱くなる
- 海において底質による光の反射の違いを知るためには、水柱補正をする必要がある
- 海底からの光の波長の輝度値の自然対数の比は底深による影響を受けないということを用いて水柱補正を行う方法で簡便なものがDepth Invariant Indexである
- 藻場は、光を吸収するため、輝度値は、砂地に比べて小さくなる
- 水柱補正をした後の画像から、暗いピクセルは藻場の可能性が高く、明るいピクセルが砂地などの藻場外の可能性が高い

水深による影響を除くために、Lyzenga(1981)にしたがいDepth Invariant Index (DII) を求めた。

$$Index_{ij} = \frac{K_j / K_i \ln(L_i - L_{si}) - \ln(L_j - L_{sj})}{\sqrt{1 + K_j^2 / K_i^2}}$$

ここで、 L_i 、 L_{si} 、 L_j 、 L_{sj} 、 K_i 、 K_j はそれぞれ、iバンドのある場所の反射率(あるいは輝度値でも可)、深い水深の場所の反射率、jバンドのある場所の反射率、深い水深の場所の反射率、iバンドの海中での消散係数、jバンドの消散係数である。

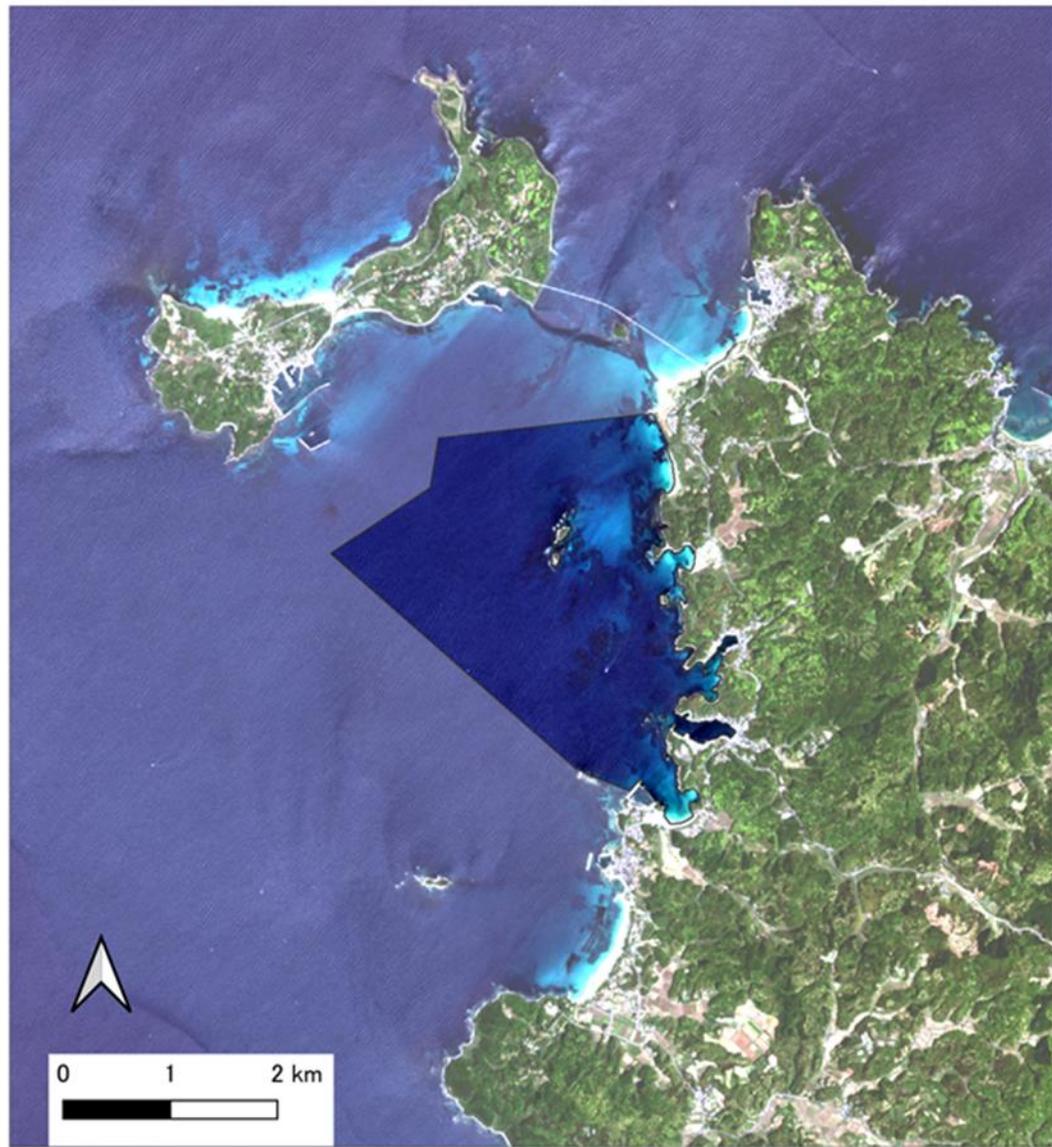
$$Index_{ij} = \frac{K_j \ln(L_i - L_{si}) - K_i \ln(L_j - L_{sj})}{\sqrt{K_i^2 + K_j^2}}$$

K_j で分子と分母それぞれを除すると、式(1.2)となる。 K_i/k_j は、海底の底質が同じ場所、例えば砂地での、消散係数の比として求めることができる。そこで、そのような場所のいろいろな底深で得られる、iバンドの反射率とjバンドの反射率を自然対数でプロットし、回帰直線を当てはめ、その傾きを求めると K_i/K_j を求めることができる。このLyzengaの方法で水深に影響を受けず、底質の違いによる反射率の比が求まる。

衛星画像解析での工夫

- Depth Invariant Indexを計算した結果、深い海底ではDIIの値が高く、浅い海底にはDIIの低い値が見られた
- RGBバンドでは、海水に吸収されやすい順番は、赤、緑、青であり、青と緑のバンドから、深い海底の底質の光の反射の情報を得ることができるので、DIIでは、青と緑のバンドのみを用いる
- まず、深い場所にある場所からの光の輝度値を補正したDIIの値から、底深に依存しないDIIの値の小さい場所（藻場の可能性のある）を抽出する
- 青バンドは、RGBの3バンドの中で最も深くの海底からの情報を取得できる。藻場は、同じ水深の砂地や磯焼けした岩礁よりも暗い放射輝度値を示す。
- そこで、青バンドの低い輝度値とDIIの値の小さい場所（藻場の可能性のある）を藻場として抽出する
- 得られた藻場の可能性のある分布域の結果と現場検証データから分類精度を調べる
- これらについて、いろいろなDIIと青バンド輝度値で調べ、藻場の分類精度が高いDIIと青バンドの組合せの結果を藻場推定の最良推定として選ぶ

特牛共同漁業権水域（申請対象水域）

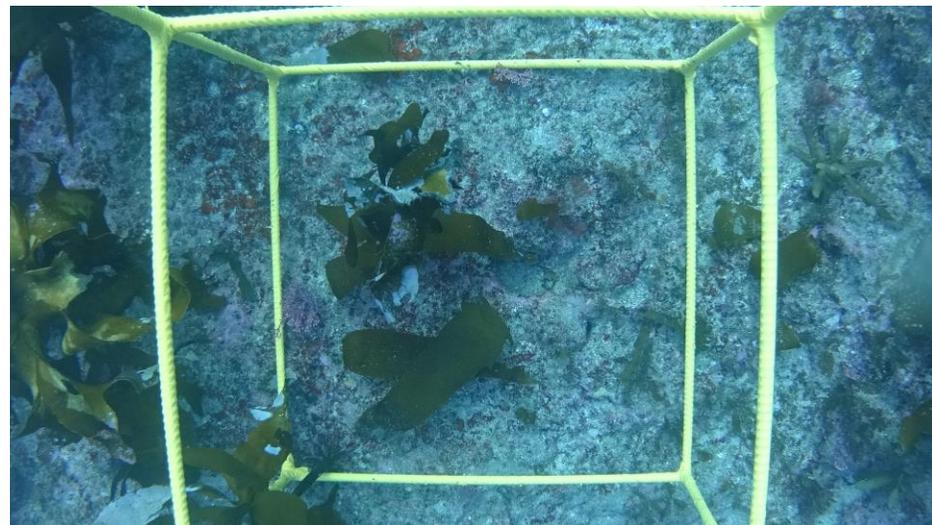


現場検証データの取得

- ドロップカメラによる50x50cmの海底の撮影と船上におけるGPSによる位置座標の取得を2021年12月5日および2022年6月5日に行った
- ホンダワラ類は、多年生のノギリモクが優占し、カジメ類は、アラメとクロメの2種が分布
- 多年生が卓越していたことから2021年12月7日と2022年6月30日のデータを合わせて現場検証データを作成

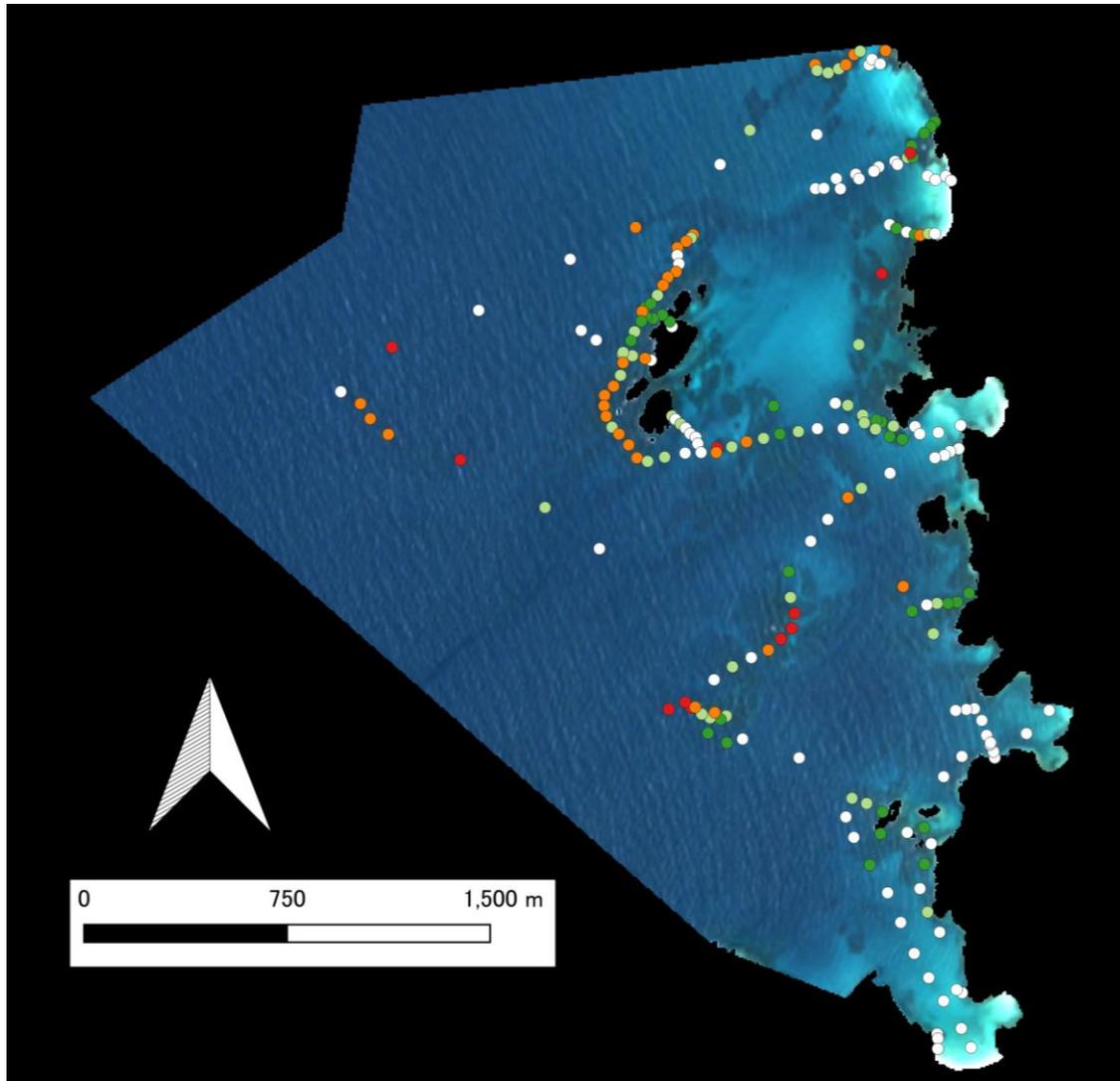


ホンダワラ類の藻場



カジメ類の藻場

現場検証データ (2021年12月と2021年6月分を合わせたカメラデータ)



- 藻場外
- ホンダワラ類のみの藻場
- ホンダワラ類の優占するカジメとの混合藻場
- カジメ類のみの藻場
- カジメ類の優占するホンダワラ類との混合藻場

現場検証データ (各地点の藻場種と被度)

定点番号	緯度	経度	藻場種	カジメ類	ホンダワラ類
23	34.34165	130.8908	ホンダワラ	0	60
24	34.34148	130.8906	ホンダワラ	0	40
25	34.34128	130.8903	ホンダワラ	0	80
26	34.34086	130.8898	ホンダワラ	0	70
27	34.34047	130.8897	ホンダワラ・カジメ	10	40
38	34.34047	130.8899	ホンダワラ	0	80
85	34.31806	130.8898	ホンダワラ	0	30
87	34.31684	130.8898	ホンダワラ	0	30
2-11	34.34406	130.8889	カジメ・ホンダワラ	20	40
2-13	34.33811	130.8892	ホンダワラ・カジメ	60	40
2-14	34.33811	130.8892	ホンダワラ	100	0
2-16	34.3379	130.8899	ホンダワラ	50	0
2-17	34.33786	130.8901	カジメ・ホンダワラ	40	40
2-18	34.33792	130.8904	ホンダワラ・カジメ	40	30
2-121	34.34062	130.8898	カジメ	0	50
2-122	34.33661	130.8885	カジメ	0	10

カジメ類 被度平均 20%

ホンダワラ類 被度平均 40%



カジメ類の典型例
 方形枠 (50cm)



ホンダワラ類の典型例
 方形枠 (50cm)

藻場分布域の推定

- DIIのある値とBand1(青バンド)のある値を閾値として、その値よりも低いピクセルを藻場と推定
- 得られた藻場分布域と、画像処理から独立したドローンカメラで得られた現場検証データとの比較による分類精度の計算
- DIIとBand1(青バンド)の組み合わせで、最良の結果を藻場分布域として選択
- 指標として、藻場のユーザー精度が0.9以上、全体精度が0.8以上、Kappa係数が0.7以上を分類精度を評価

ユーザー精度と全体精度

- 基準を設定して分類した場合、あるクラスについて得られるピクセルの結果を同じ位置の現場検証データと比較し、何割が合致しているかという値がユーザー精度。正確に分類されたクラスのピクセル数を全体の現場検証データ数で除したものが全体精度。
- 一般に、あるクラスの分布の時間的な変化を調べる場合には、ユーザー精度0.9以上が望ましい(Mumby and Green, 2000)。全体精度は、60%-80%以上あれば実用上使える(Mumby et al., 1999)

Mumby, P. J. and Green, E. P. 2000. Field survey: building the link between image and reality. In Remote sensing handbook for tropical coastal management. Edwards, A. J. (ed.), pp. 57-66, UNESCO, Paris.

Mumby, P. J., Green, E. P., Edwards, A. J. and Clark, C. D. 1999. The cost-effectiveness of remote sensing for tropical coastal resources assessment and management. J. Environ. Manag. 55: 157-166.

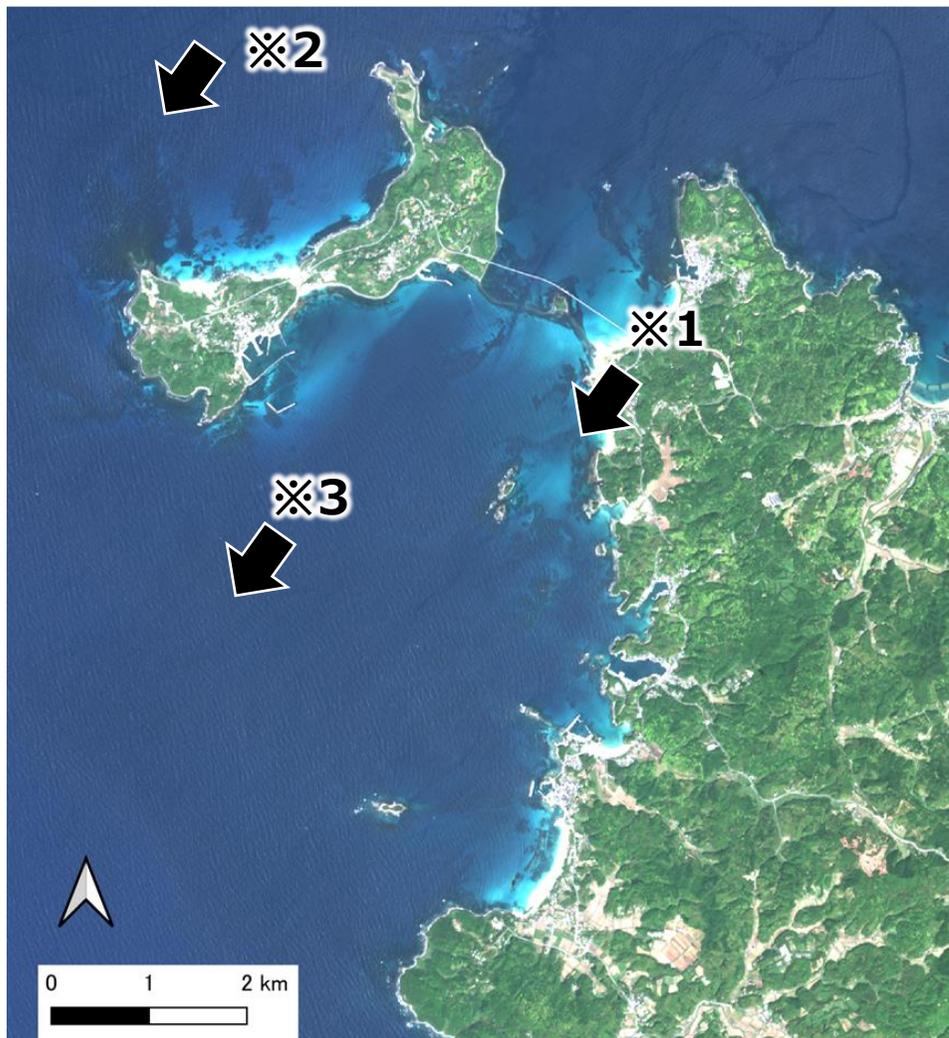
Kappa係数

カッパ係数 kappa coefficient は、同じ対象に対して2つの評価間の一致度を表す場合に用いられる統計量の1つ。評価者間の一致度や繰り返し測定の一貫性を見る際に用いられ、評価方法の信頼性や妥当性を調べることができる。カッパ係数 κ は、 $-1 \leq \kappa \leq 1$ の範囲をとり、値が1に近いほど一致度が高いことを意味する。カッパ係数の考え方2：単純な一致度に対して、たまたま一致したとみなされる割合と本当に一致したとみなされる割合を分ける。カッパ係数の値により、次のように分類される。

< 0	<i>No agreement</i>	一致していない
<i>0.00 – 0.20</i>	<i>Slight</i>	わずかに一致
<i>0.21 – 0.40</i>	<i>Fair</i>	おおむね一致
<i>0.41 – 0.60</i>	<i>Moderate</i>	適度に一致
<i>0.61 – 0.80</i>	<i>Substantial</i>	かなり一致
<i>0.81 – 1.00</i>	<i>Almost perfect</i>	ほとんど一致

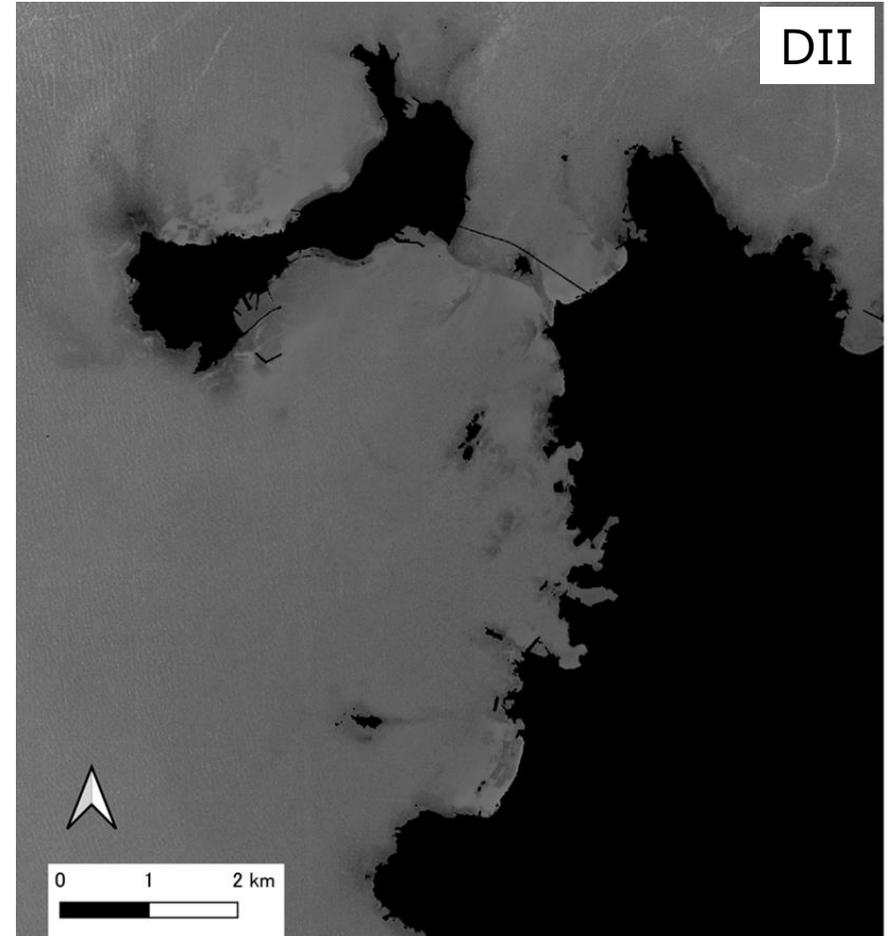
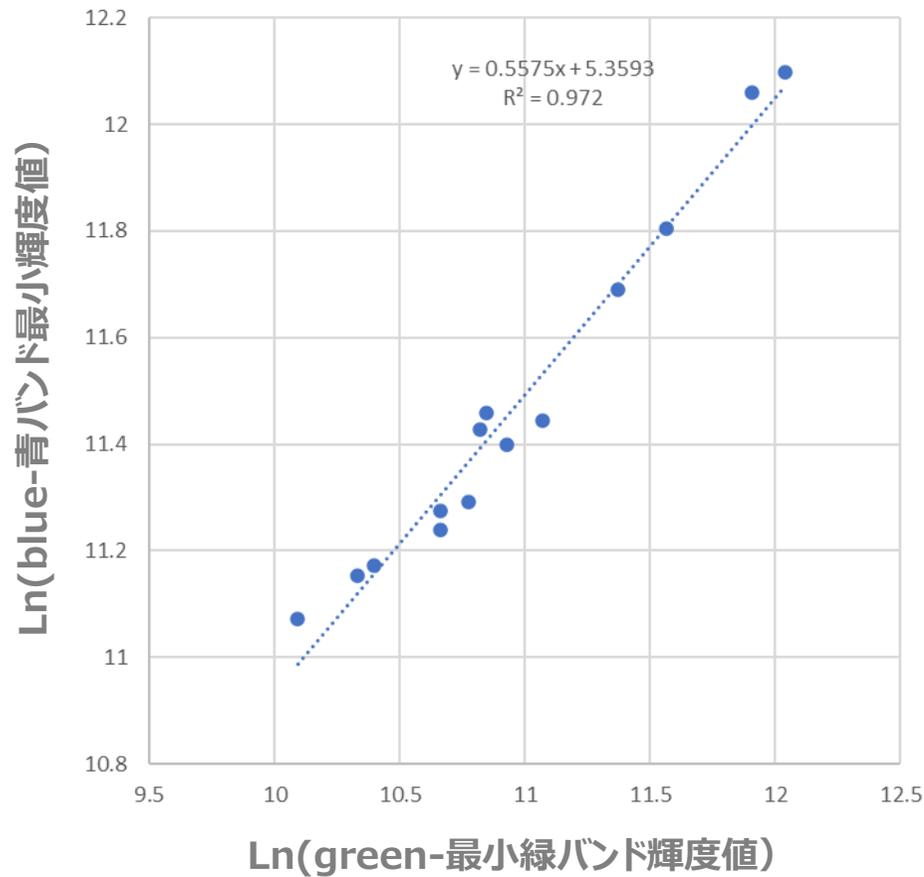
画像解析結果と現場検証データという2つの評価間の一致度を吟味

2021年5月6日撮影SPOT6マルチバンド・画像解析結果 SPOT6のRGB画像



- ※1：岸に近い海に分布する暗い場所は藻場の可能性が高い
- ※2：波の影響により、筋状に高い輝度値と低い輝度値が現れる
- ※3：深い海底から反射される光の輝度値は水柱での光の消散により下がり、輝度値の低い藻場と同程度の輝度値となるため、水柱補正が必要

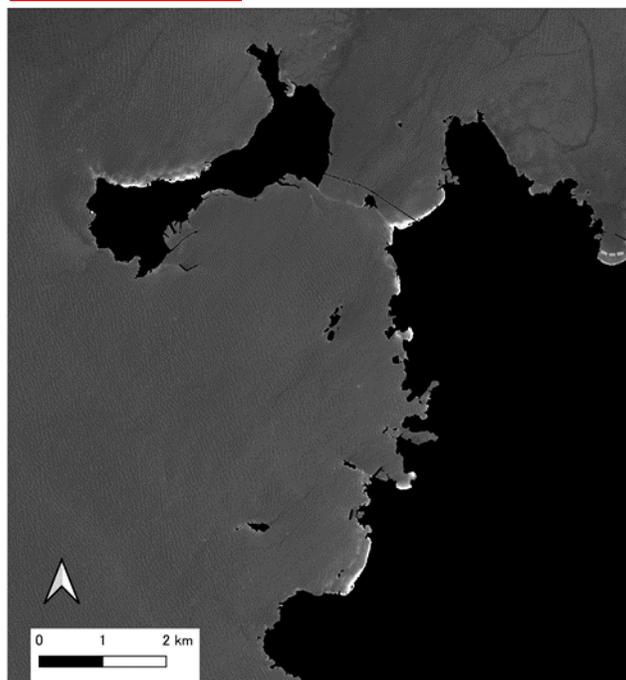
2021年5月6日撮影SPOT6マルチバンド・画像解析結果 青バンドと緑バンドのDII



深い海底の砂地は、岸近くの藻場よりも高いDII値
深場の砂地を除外

2021年5月6日撮影SPOT6マルチバンド・画像解析結果 赤・緑・青バンド値

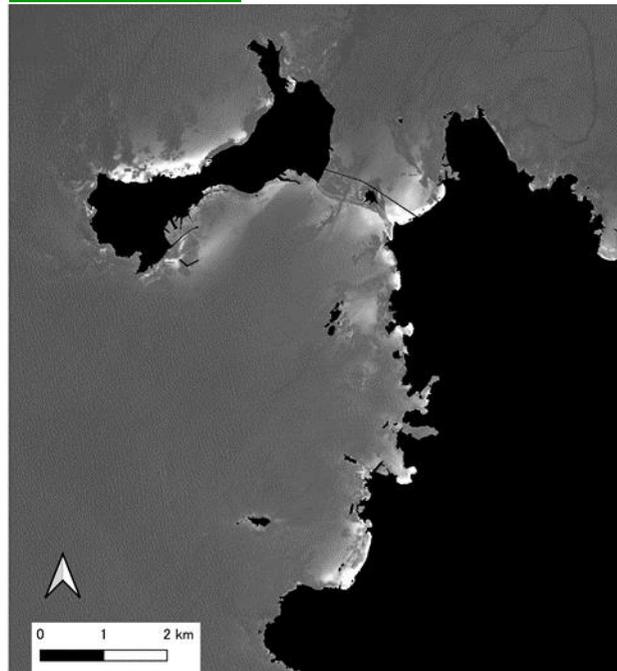
赤バンド



300,000
0 Radiance ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)

海底が深くなると、水柱を通過する光が吸収散乱される。赤バンドは、緑バンド、青バンドよりも水柱の影響で、輝度値が小さくなる。そのため、赤バンドから深い海底の情報を得ることは困難

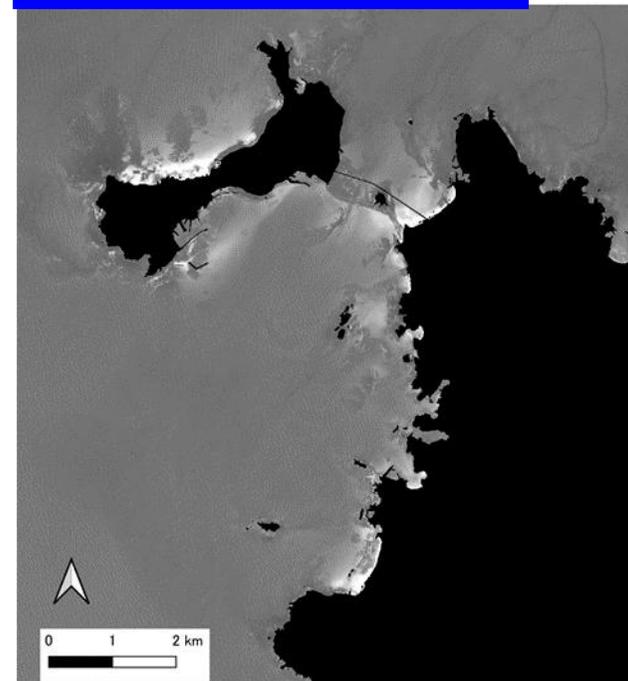
緑バンド



400,000
0 Radiance ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)

海底が深くなると、水柱を通過する光が吸収散乱される。緑バンドは、青バンドよりも水柱の影響で、輝度値が小さくなるが、赤バンドよりも水柱の影響を受けにくい。そのため、緑バンドは赤バンドより深い海底の情報を得ることは可能

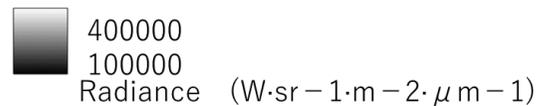
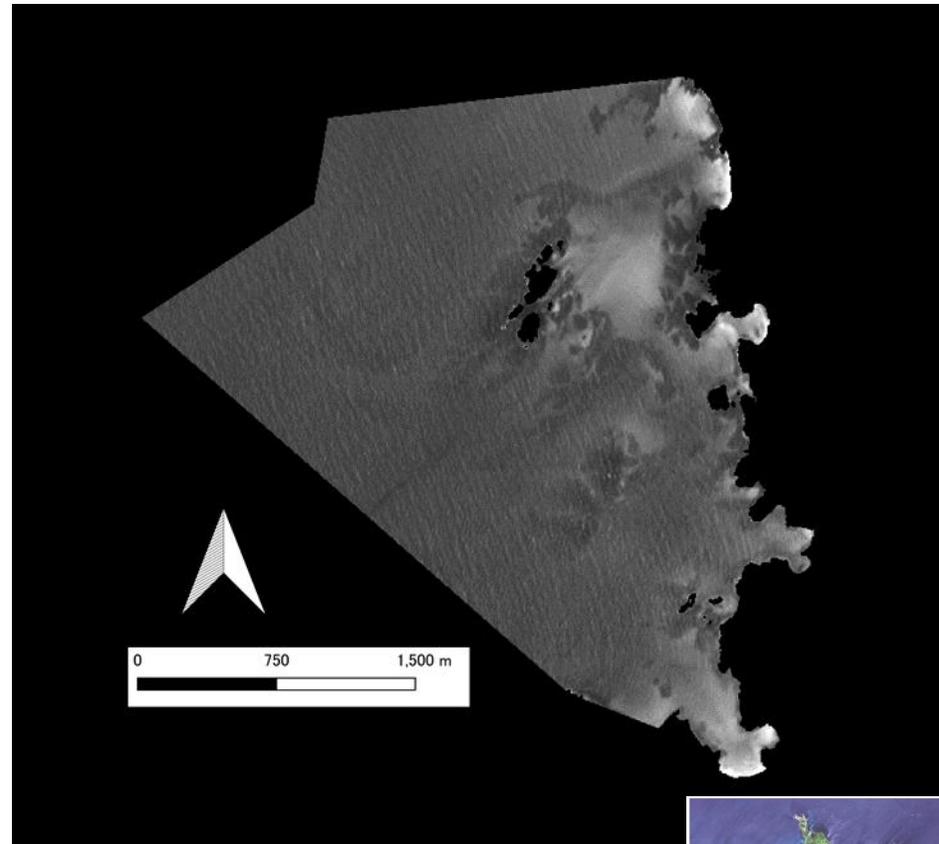
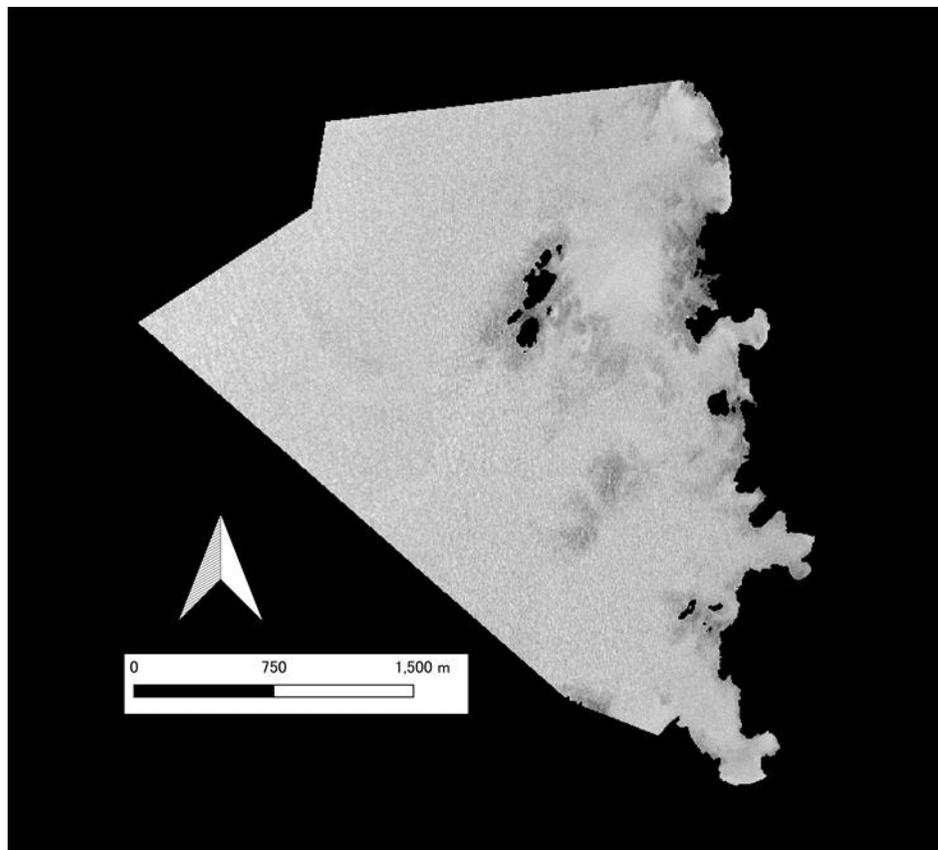
青バンド(SPOT Band 1)



400,000
0 Radiance ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)

海底が深くなると、水柱を通過する光が吸収散乱される。青バンドは、赤や緑バンドよりも水柱の影響を受けにくい。そのため、青バンドは深い海底の情報を他のバンドよりも多く得ることが可能

2021年5月6日撮影SPOT6マルチバンド・画像解析結果 対象水域のDIIと青バンド



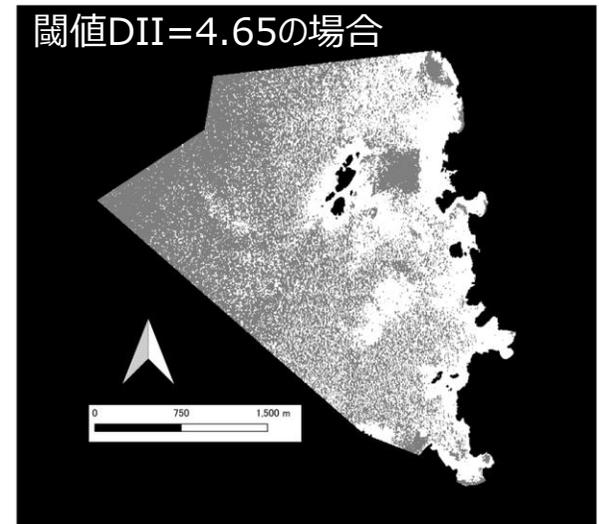
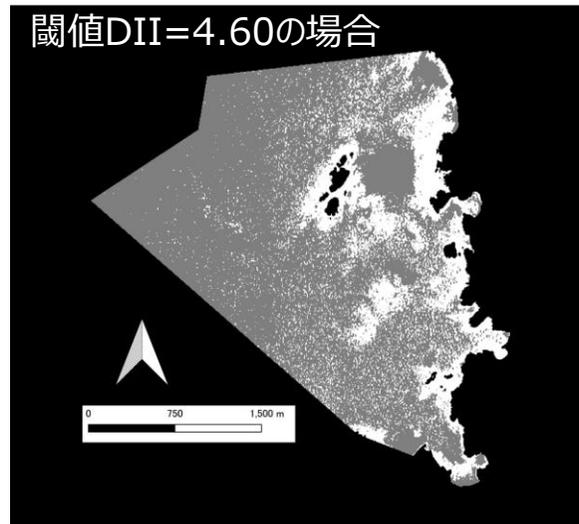
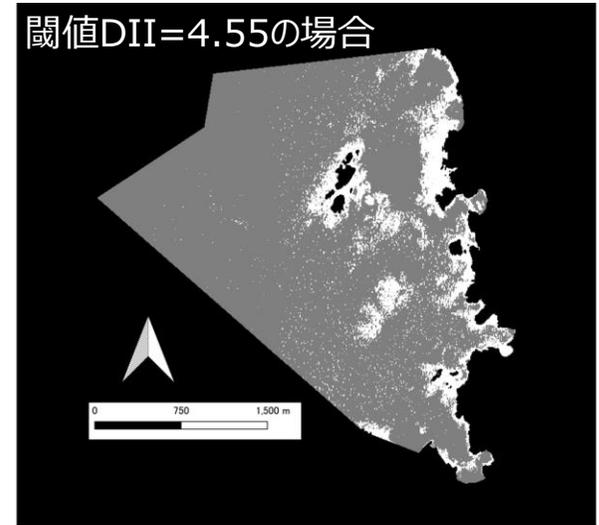
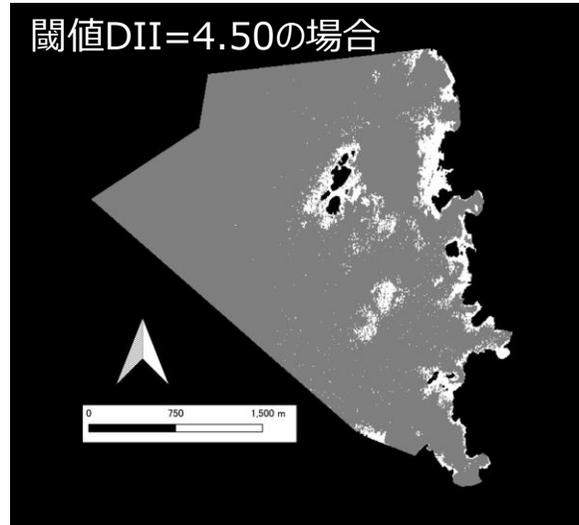
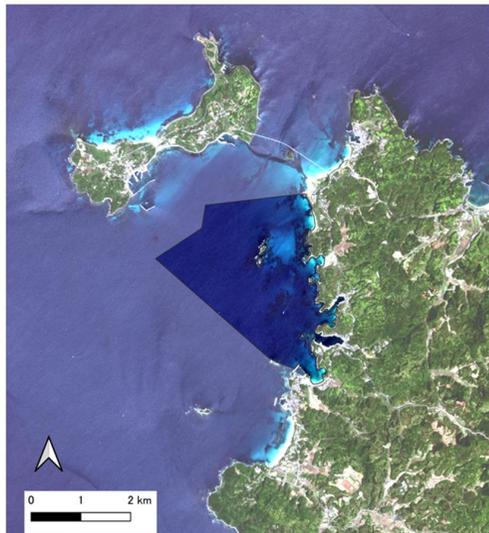
港は海底に堆積しているヘドロの影響もあり、現場調査でも藻場が分布していなかったためマスクした。



2021年5月6日撮影SPOT6マルチバンド・画像解析結果

DIIの閾値による藻場と藻場外の分類のための準備

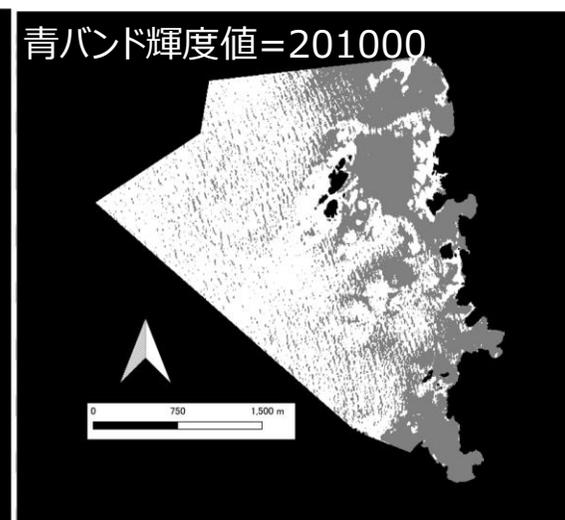
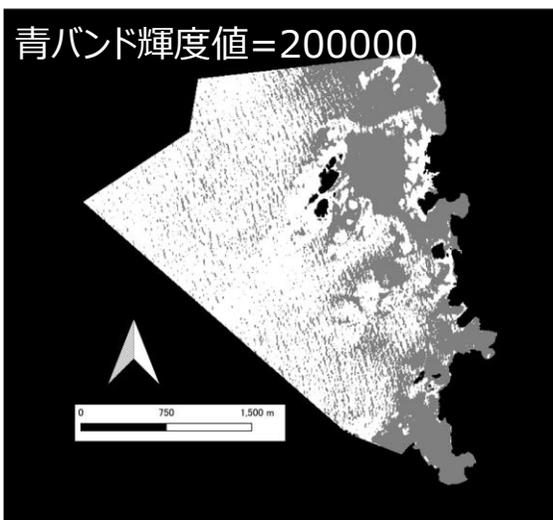
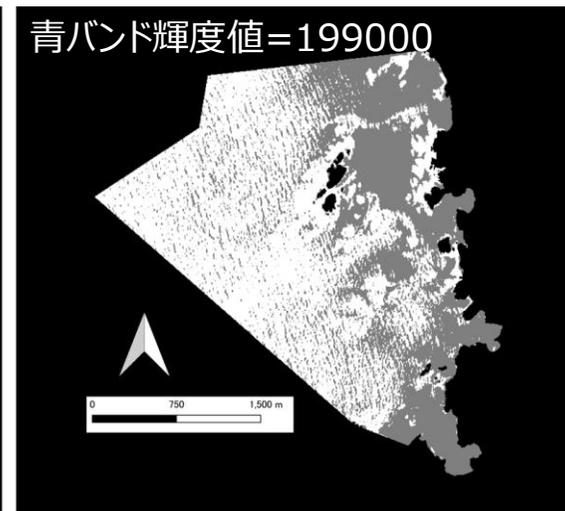
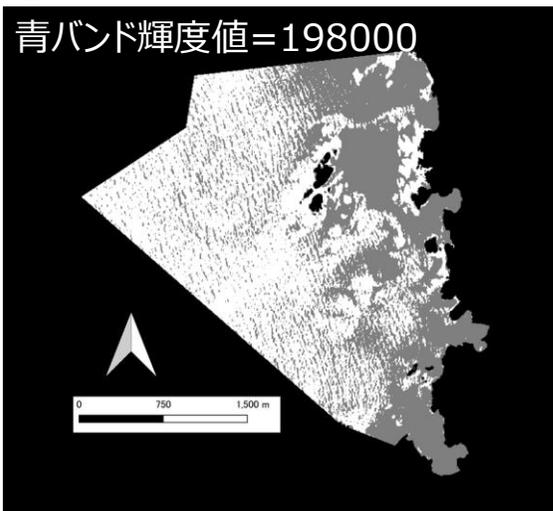
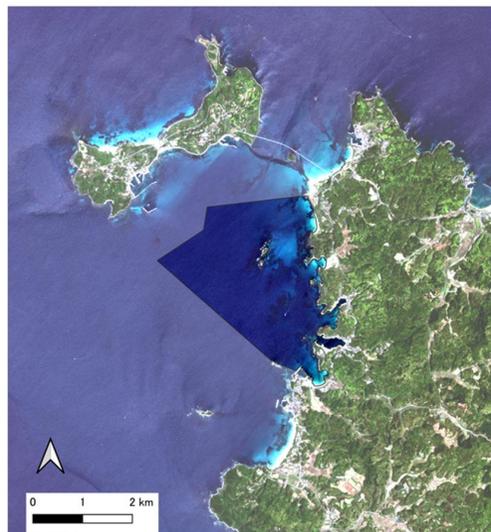
底深の深い砂地の除外



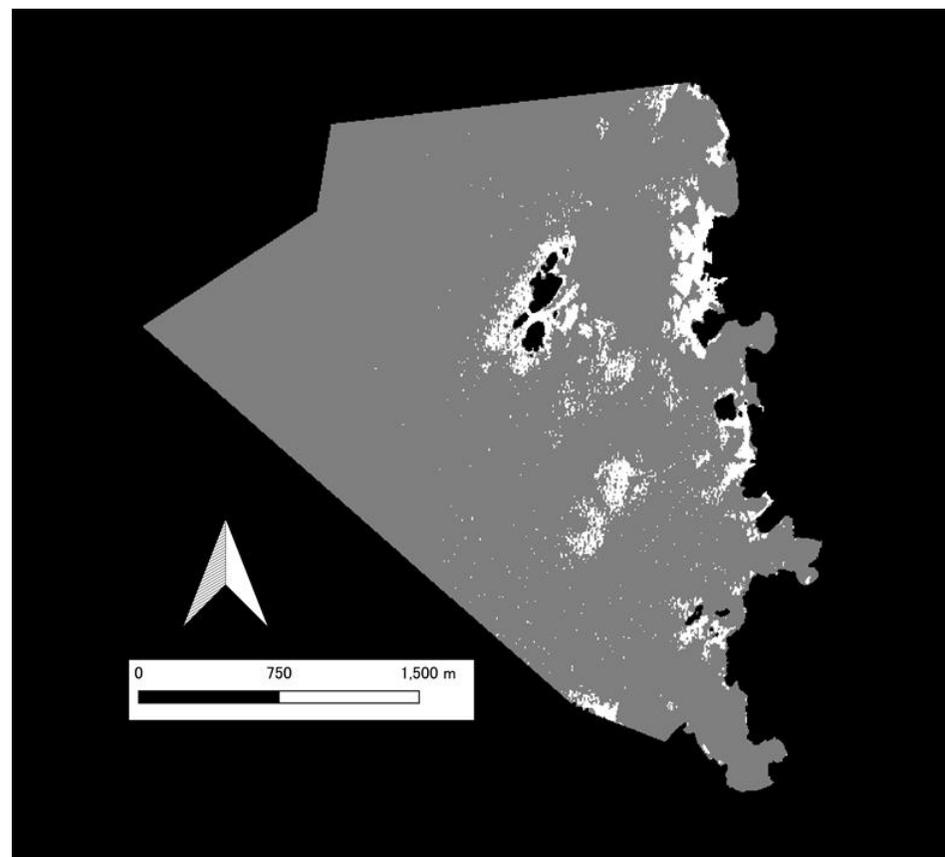
2021年5月6日撮影SPOT6マルチバンド・画像解析結果

青バンド輝度値による藻場と藻場外の分類のための準備

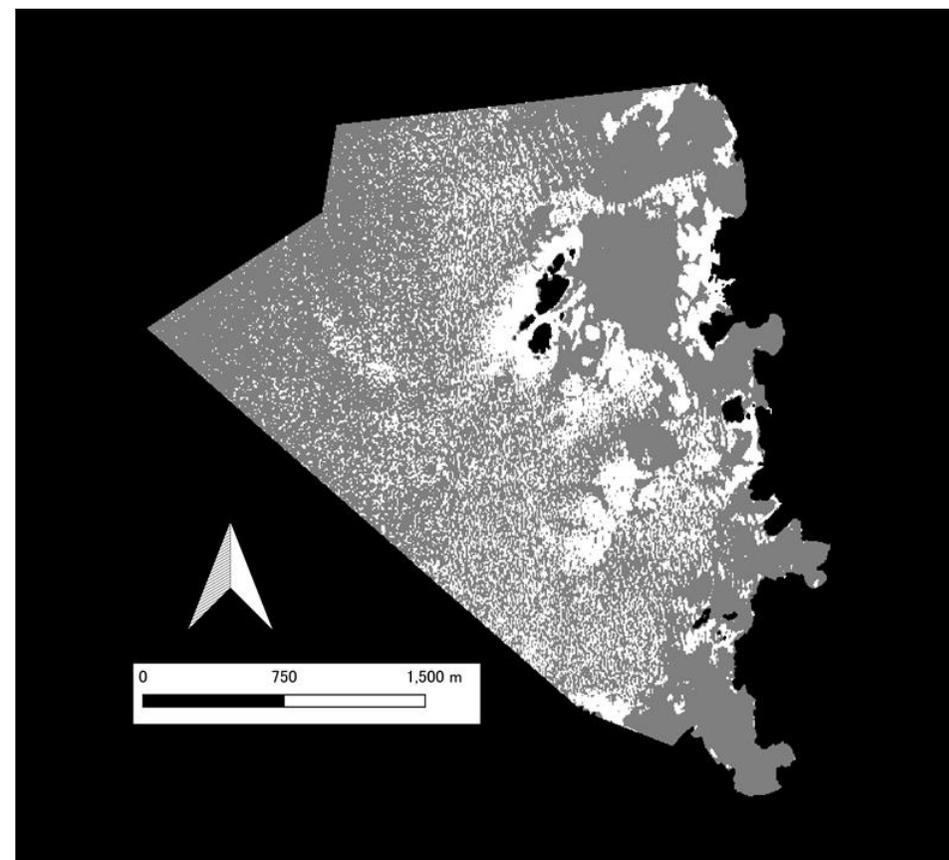
浅い底深の藻場以外の場所の排除



2021年5月6日撮影SPOT6マルチバンド・画像解析結果 DIIおよび青バンドから求めた藻場と藻場外

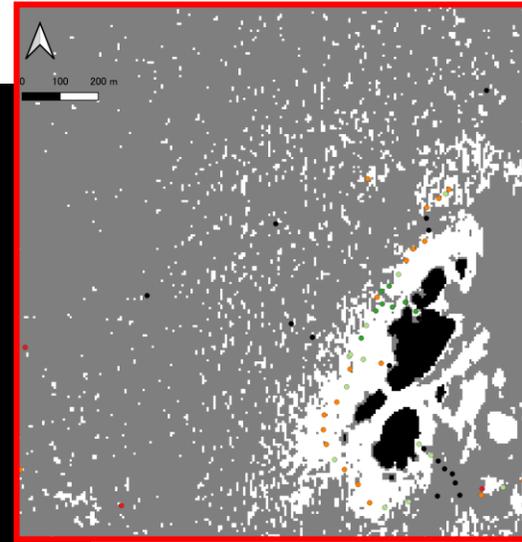
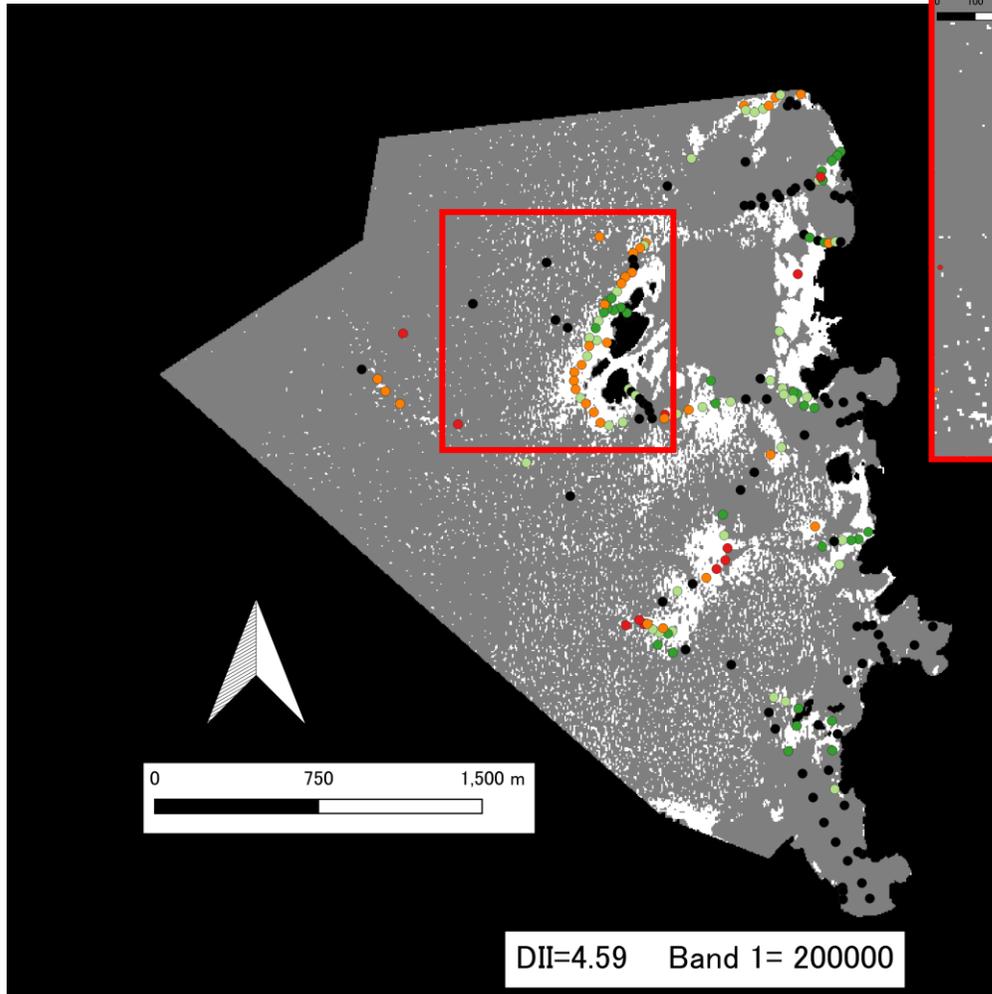


DII=4.50 青バンド=200000



DII=4.65 青バンド=200000

求めた誤差行列の例： DII=4.59 青バンド=200000



黒は陸域あるいは漁業権範囲外、灰色は藻場外、白は藻場

黒丸印：藻場外
 濃い緑丸印：ホンダワラ類のみの藻場
 薄い緑丸印：ホンダワラ類優占のカジメ類との混合藻場
 濃い赤丸印：カジメ類のみの藻場
 薄い赤丸印：カジメ類優占のホンダワラ類との混合藻場

現場検証データ

	藻場	藻場外	ユーザ精度	
藻場		77	4	0.9506
藻場外		40	126	0.7590
プロデュース精度	0.6581	0.9692		

全体精度 0.8219
 Kappa係数 0.6372

DIIと青バンドの組み合わせで分類されたピクセル値と現場検証データから求めたユーザー精度、全体精度、Kappa 係数

青と緑から得られたDII

Band 1 (青バンド:Radiance (W·sr⁻¹·m⁻²·μm⁻¹))

User Accuracy					Overall Accuracy					Kappa							
	200000	203000	205000	210000		200000	203000	205000	210000		200000	203000	205000	210000			
	4.57	0.9615	0.9506	0.9518	0.9535		4.57	0.8193	0.8219	0.8286	0.8388		4.57	0.612	0.6372	0.6521	0.6746
	4.58	0.9535	0.9438	0.9451	0.9535		4.58	0.8388	0.8417	0.8487	0.8388		4.58	0.6746	0.6813	0.6963	0.6746
	4.59	0.956	0.94681	0.9484	0.9223		4.59	0.8565	0.8596	0.8707	0.8689		4.59	0.7122	0.7189	0.7417	0.7386
	4.6	0.9368	0.9285	0.9307	0.9065		4.6	0.8553	0.8584	0.8696	0.8678		4.6	0.7104	0.7169	0.7397	0.7361
	4.61	0.9381	0.93	0.932	0.9083		4.61	0.8627	0.8658	0.8772	0.8756		4.61	0.7255	0.7321	0.755	0.7514

藻場のユーザー精度が0.94以上、全体精度が0.85以上、Kappa係数0.7以上

DII=4.59, Band 1=205000の誤差行列

DII = 4.59 Band 1 = 205000
 User精度 0.9484 全体精度 0.8707 Kappa係数 0.7417

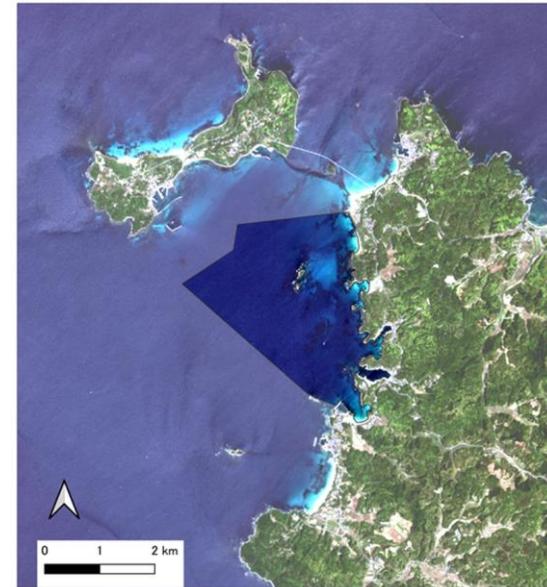
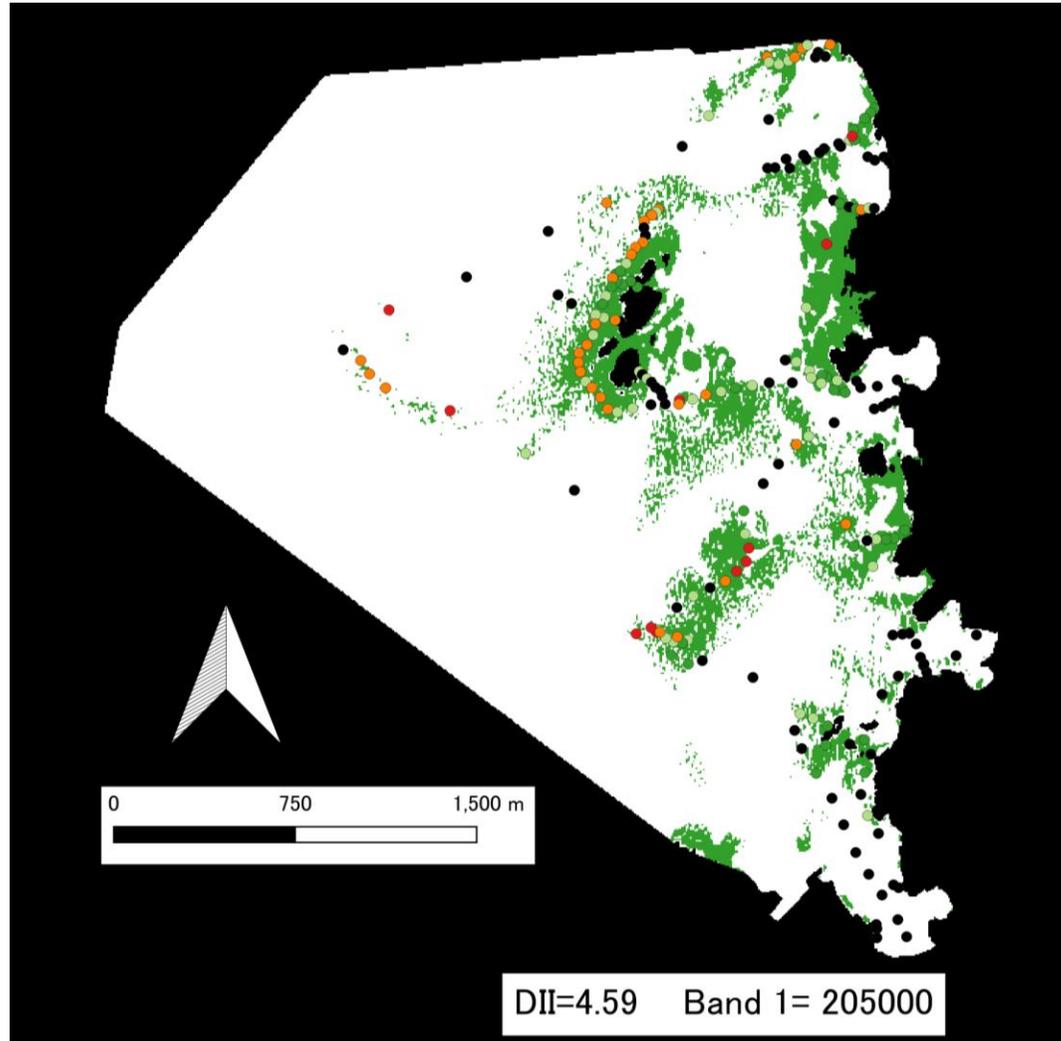
現場検証データ

画像分類

	藻場	藻場外	小計	ユーザー精度
藻場	92	5	97	0.9485
藻場外	25	110	135	0.8148
小計	117	115	232	
プロデューサ精度	0.7436	0.9667		
全体精度				0.8707

Kappa係数 0.7417

2021年5月6日のSPOT6衛星画像をもとに 最良推定された藻場分布 (DII=4.59, 青バンド205000)

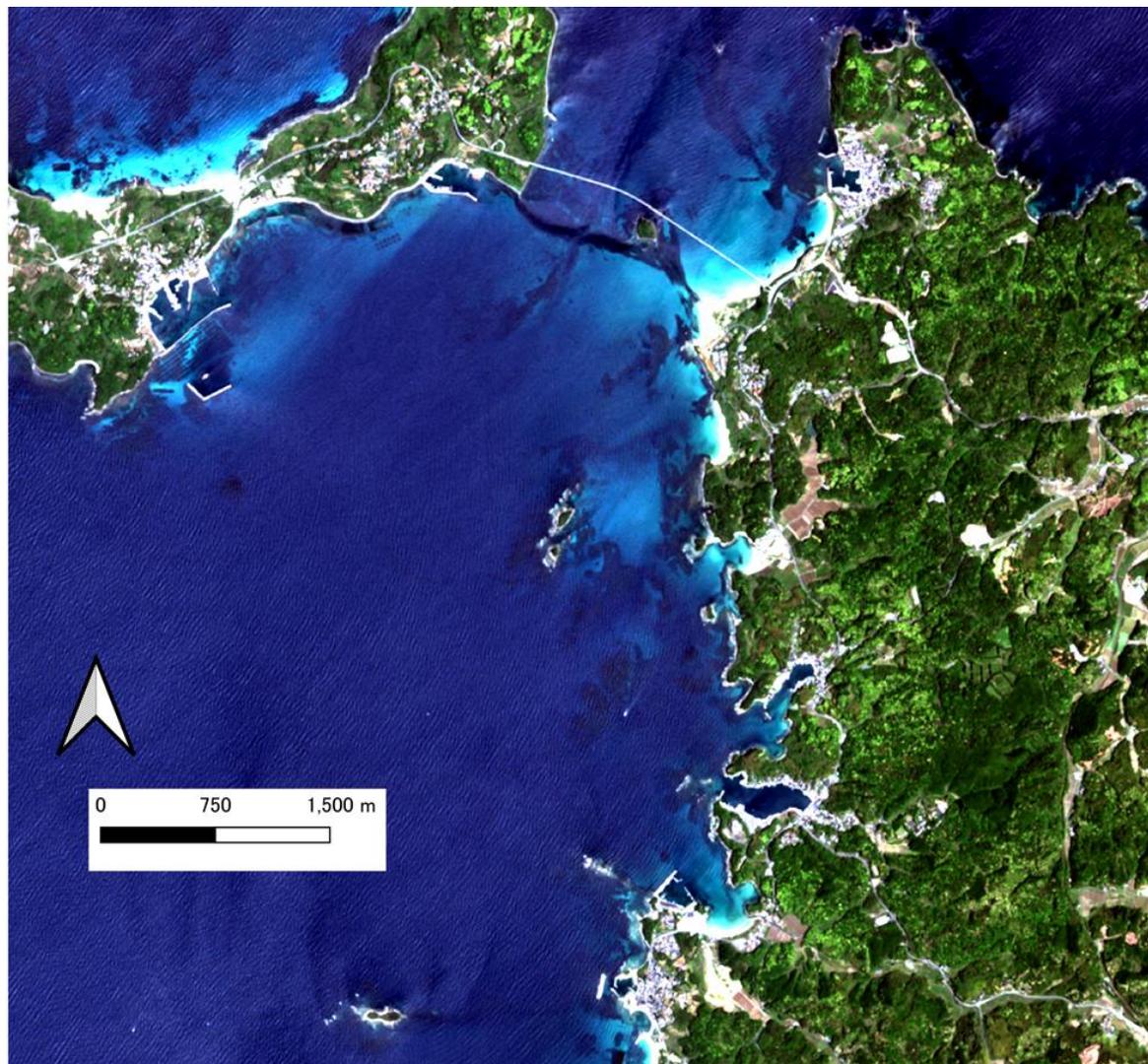


波で発生したノイズによるニセ藻場が分布
沖合の深い底深域により生じたニセ藻場をマスクにより除去
目視によるコンテクスチュアルエディティング

黒は陸域あるいは漁業権範囲外、灰色は藻場外、白は藻場

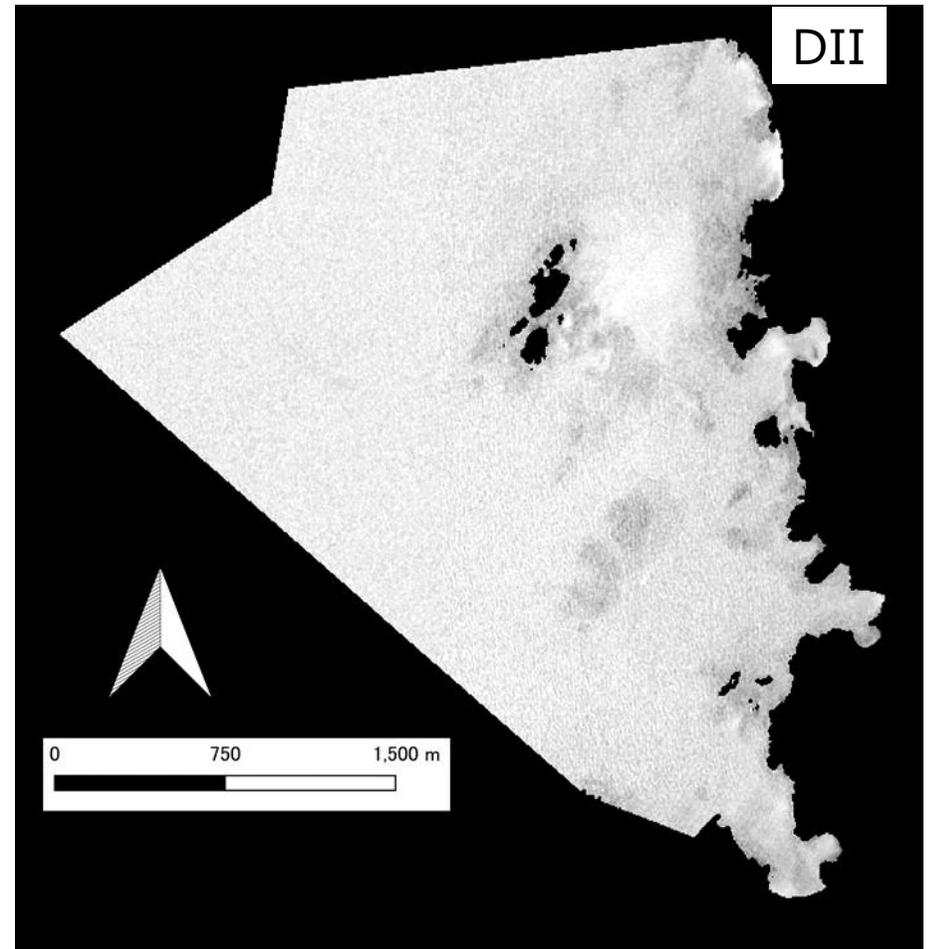
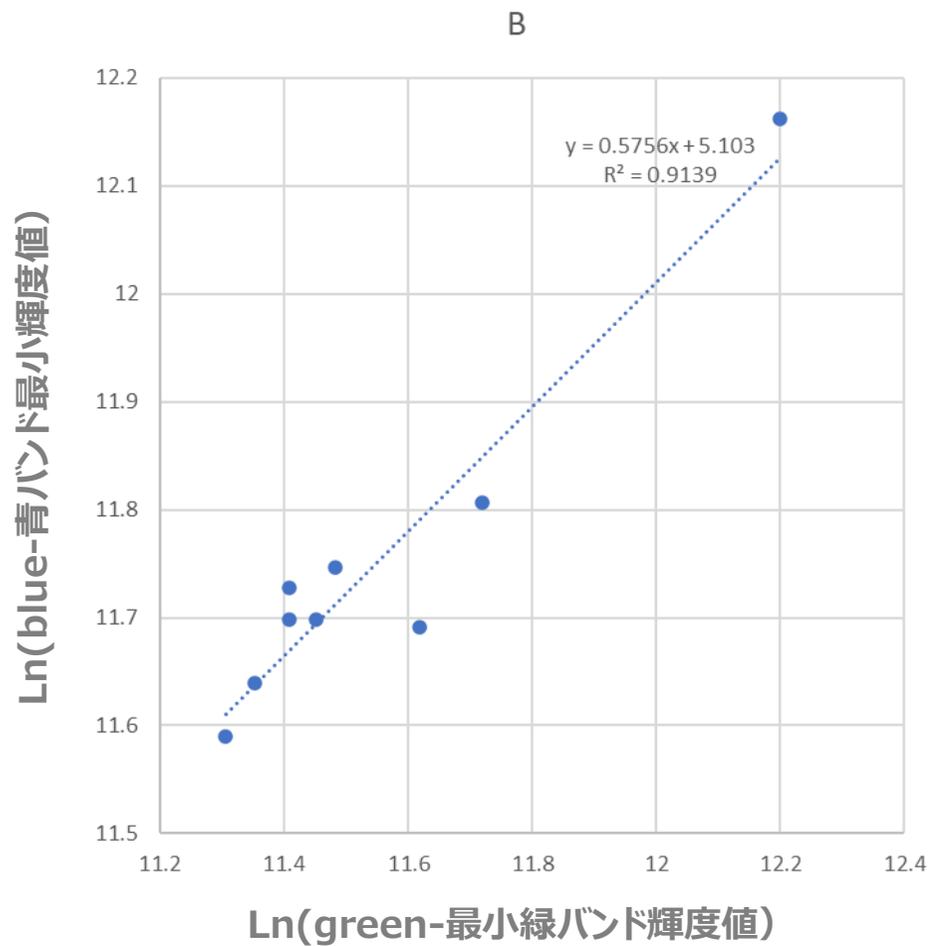
黒丸印：藻場外
濃い緑丸印：ホンダワラ類のみの藻場
薄い緑丸印：ホンダワラ類優占のカジメ類との混合藻場
濃い赤丸印：カジメ類のみの藻場
薄い赤丸印：カジメ類優占のホンダワラ類との混合藻場

2022年5月4日SPOT7 マルチバンド画像・画像解析結果 SPOT7のRGB画像

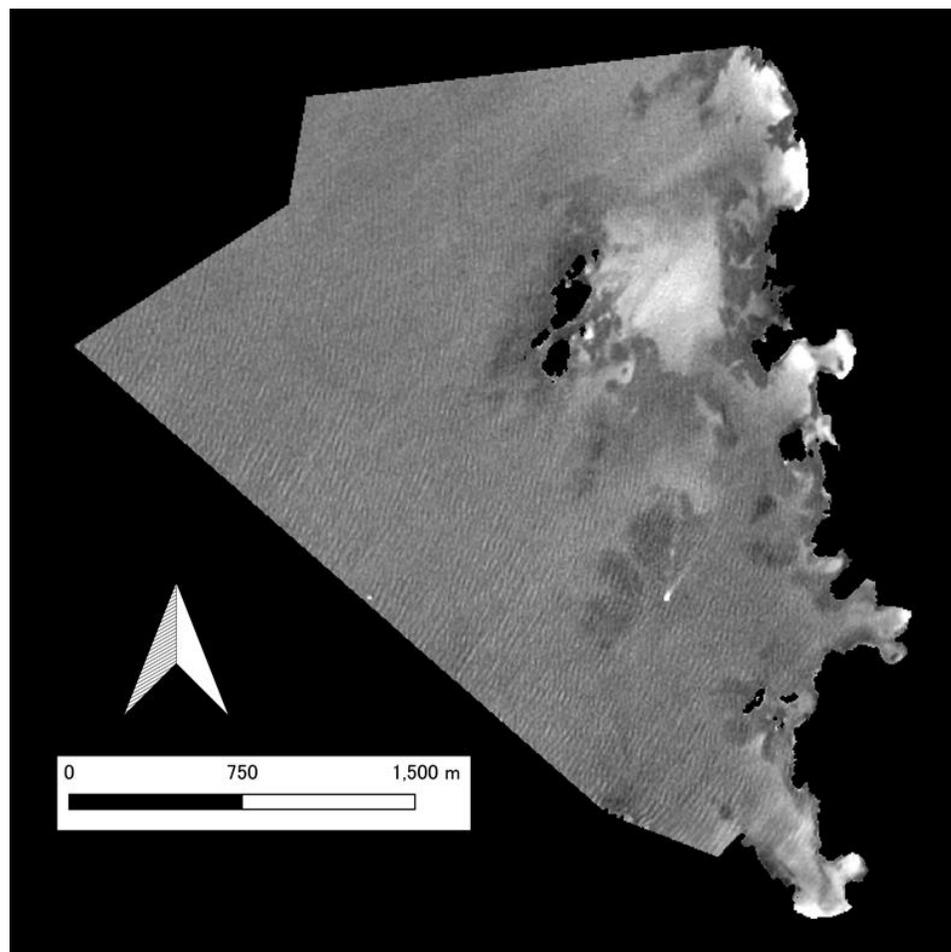


2022年5月4日撮影
SPOT7衛星画像

2022年5月4日SPOT7 マルチバンド画像・画像解析結果 青バンドと緑バンドのDII



2022年5月4日SPOT7 マルチバンド画像・画像解析結果 陸域および共同漁業権外をマスクしたBand 1(青バンド)の放射輝度分布



Radiance ($\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)

2022年5月4日SPOT7 マルチバンド画像・画像解析結果

DIIと青バンドの組み合わせで分類されたピクセル値と現場検証データから求めたユーザー精度、全体精度、Kappa 係数

Band 1 (青バンドRadiance (W·sr⁻¹·m⁻²·μm⁻¹))

青と緑から
得られたDII

	188000	189000	190000	191000	192000	193000		188000	189000	190000	191000	192000	193000		188000	189000	190000	191000	192000	193000
4.39	0.8947	0.898	0.8942	0.8952	0.8785	0.8785	4.39	0.8216	0.8319	0.8455	0.8491	0.8405	0.8405	4.39	0.6416	0.6634	0.6914	0.6988	0.6815	0.6815
4.4	0.9	0.9038	0.9	0.9027	0.885	0.885	4.4	0.839	0.8534	0.8678	0.8795	0.8628	0.8628	4.4	0.678	0.7074	0.736	0.7588	0.7257	0.7257
4.41	0.902	0.9057	0.9017	0.9027	0.887	0.887	4.41	0.8462	0.8609	0.8756	0.8795	0.8705	0.8705	4.41	0.6926	0.7223	0.7516	0.7588	0.7407	0.7407
4.42	0.8932	0.8972	0.8938	0.887	0.8718	0.8718	4.42	0.8418	0.8565	0.8711	0.8705	0.8616	0.8616	4.42	0.6841	0.7136	0.7422	0.7407	0.7226	0.7226

藻場のユーザー精度が0.9以上、全体精度が0.85以上、Kappa係数0.7以上

DII = 4.40 Band 1 = 191000

User精度 0.9027 全体精度 0.8795 Kappa係数 0.7588

DII=4.40, Band 1=191000の誤差行列

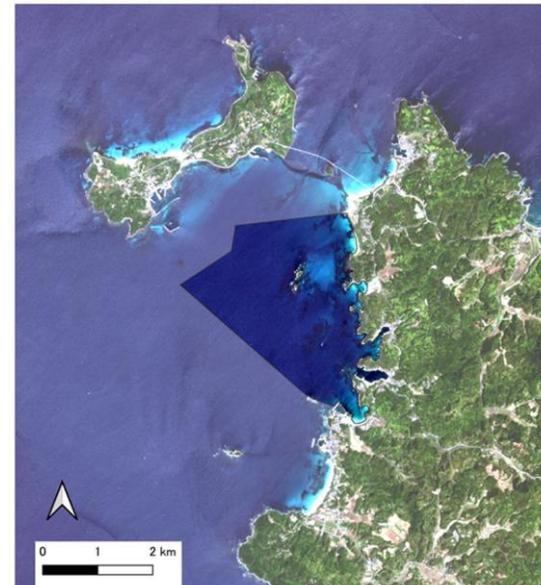
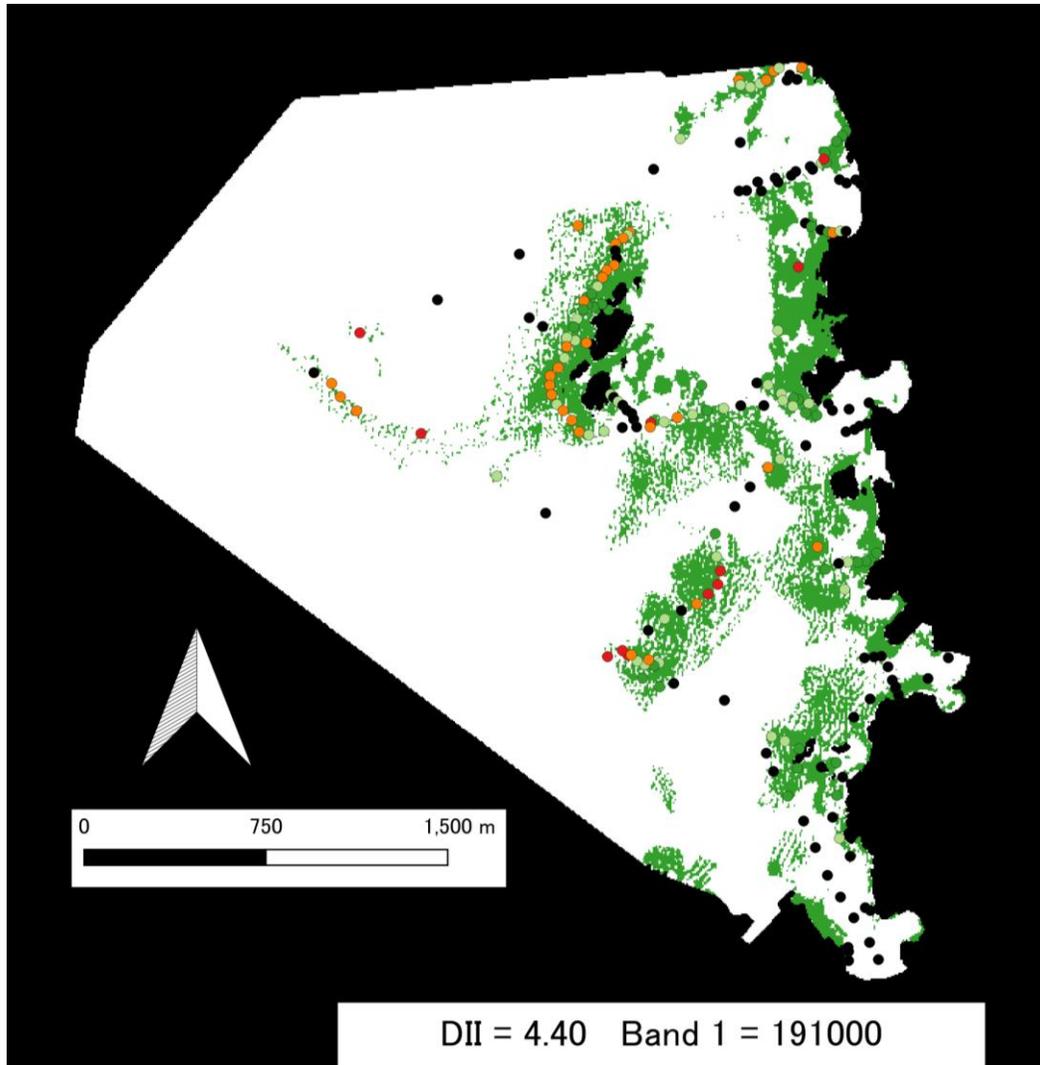
現場検証データ

画像分類

	藻場	藻場外	小計	ユーザー精度
藻場	102	11	113	0.9027
藻場外	16	95	111	0.8559
小計	117	115	232	
プロデューサ精度	0.8644	0.8962		
全体精度				0.8794

Kappa係数 0.7588

2022年5月4日SPOT7 マルチバンド画像・画像解析結果 最良推定された藻場分布 (DII=4.40, 青バンド191000)



波で発生したノイズによるニセ藻場が分布
沖合の深い底深域により生じたニセ藻場をマスクにより除去
目視によるコンテクスチュアルエディティング

黒は陸域あるいは漁業権範囲外、灰色は藻場外、白は藻場

黒丸印：藻場外
濃い緑丸印：ホンダワラ類のみの藻場
薄い緑丸印：ホンダワラ類優占のカジメ類との混合藻場
濃い赤丸印：カジメ類のみの藻場
薄い赤丸印：カジメ類優占のホンダワラ類との混合藻場

ウニの駆除活動実績

ウニ駆除活動した3海域
2021年9月6日から6月29日まで



特牛3海域における
ウニ駆除量は1860kg

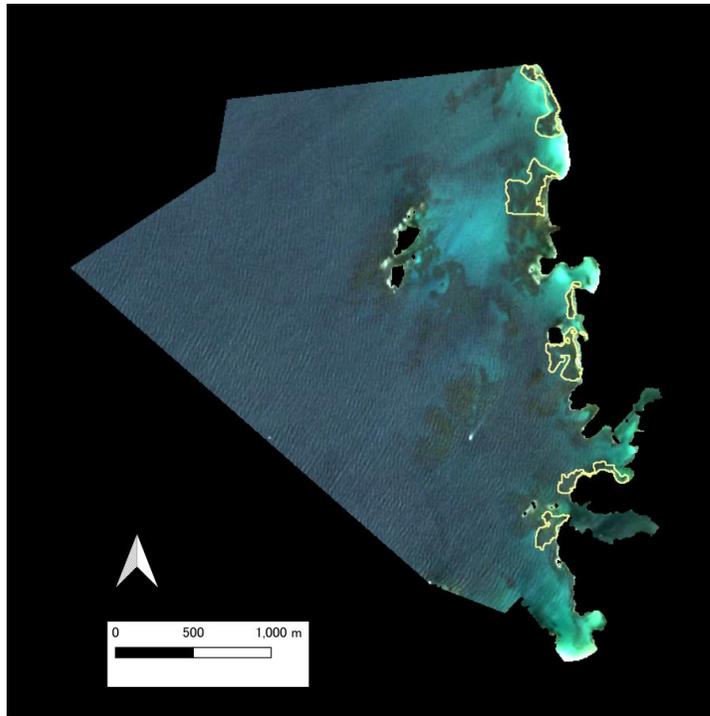


ウニ駆除活動の効果判定

リモートセンシングによるマッピングでは、衛星画像を取得した時の波浪などの海況条件により、藻場検出力は、衛星画像ごとにより異なる可能性

衛星画像取得時の海況が及ぼす藻場検出の影響は、衛星画像ごとでは同じであると仮定
ウニを駆除したA、B、C海域とその周辺のウニを除去していない海域との藻場面積の増減の比較

ウニ除去海域が、その周辺のウニ除去海域よりも増加傾向が大、また、減少傾向が小であれば、ウニ除去の影響により藻場の保全に効果があったと判定



Area A

Area Aの対照海域

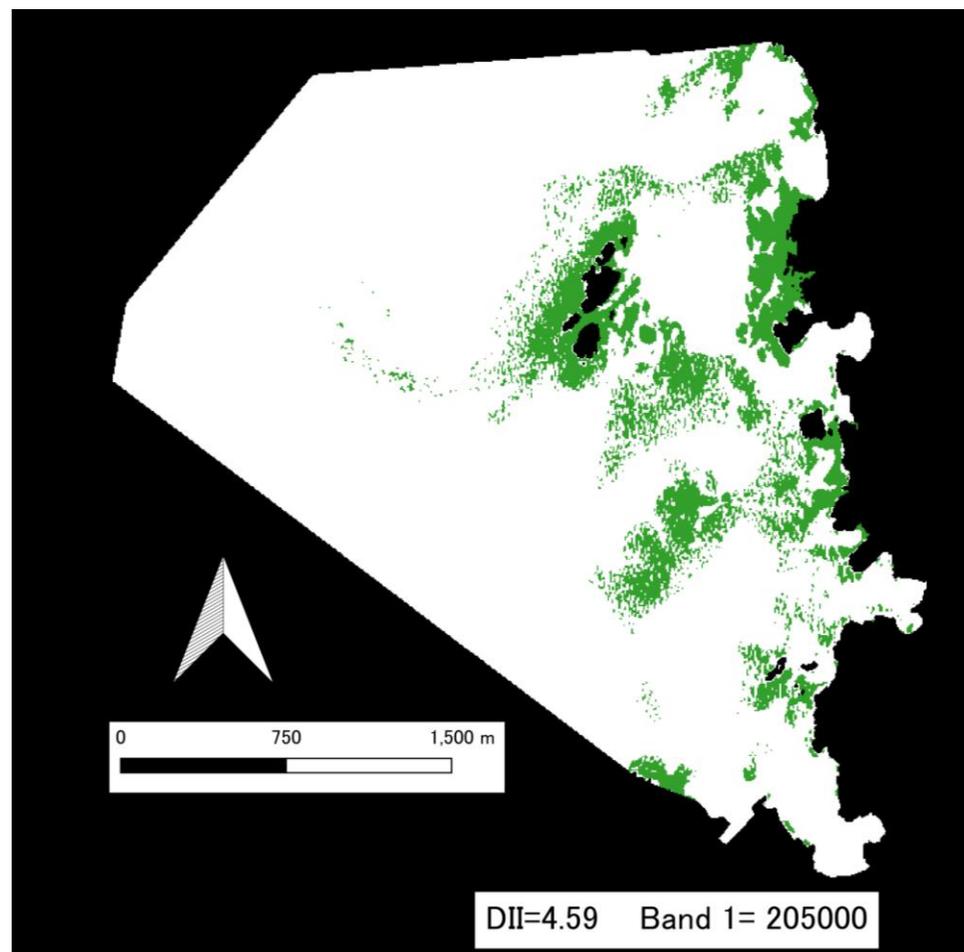
Area B

Area Bの対照海域

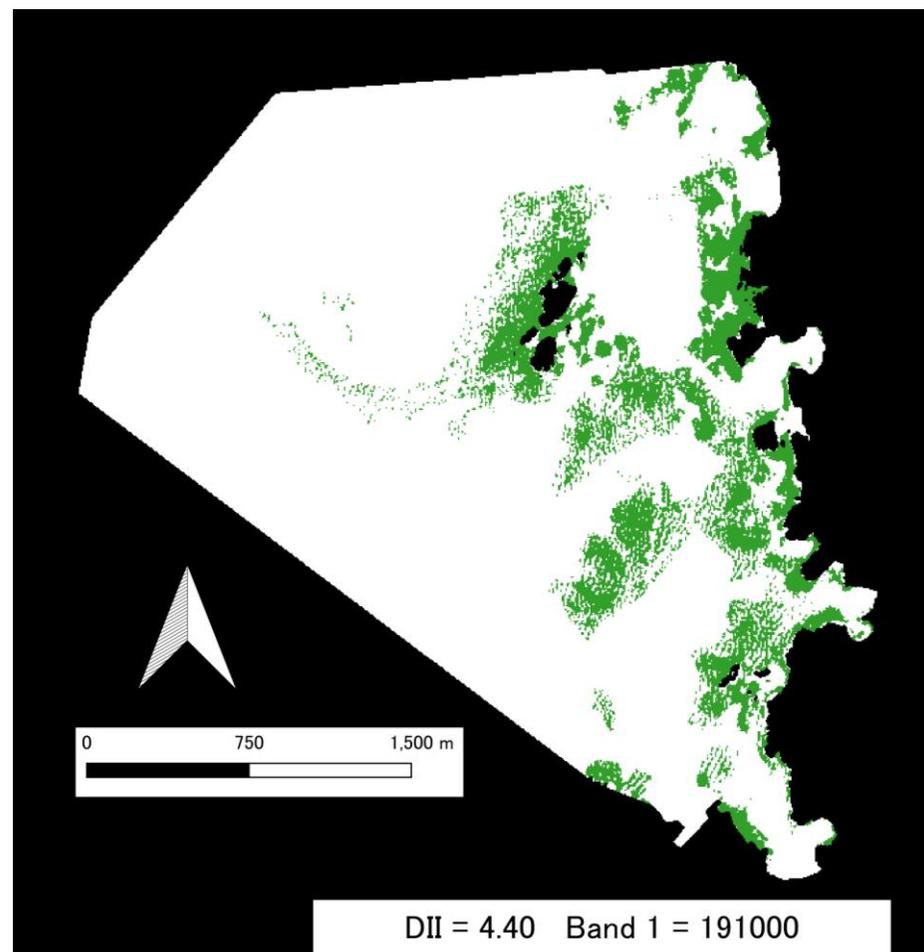
Area C

Area Cの対照海域

2021年5月6日と2022年5月4日の藻場分布

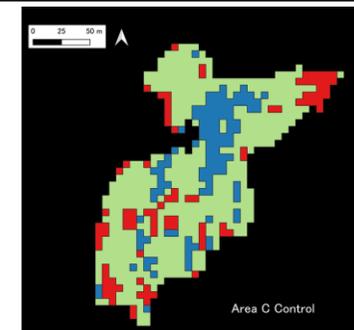
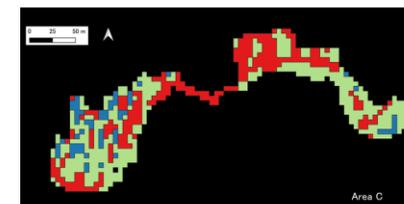
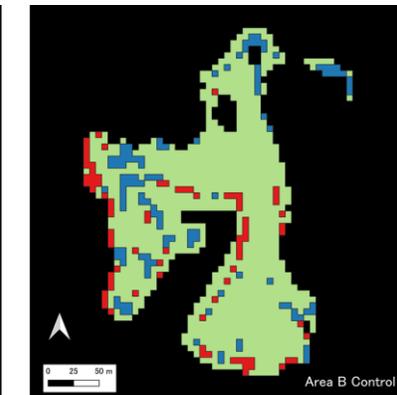
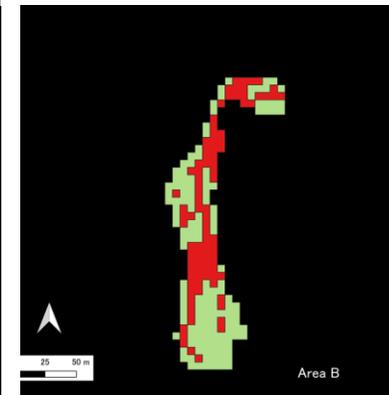
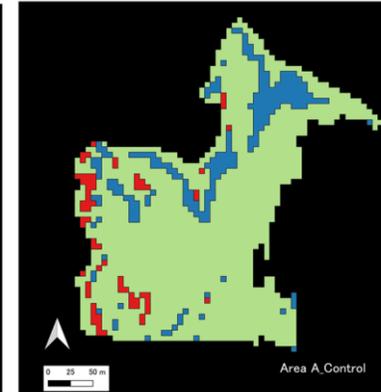
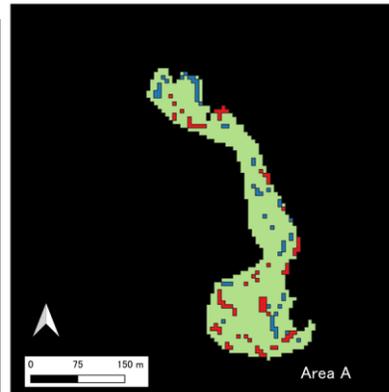
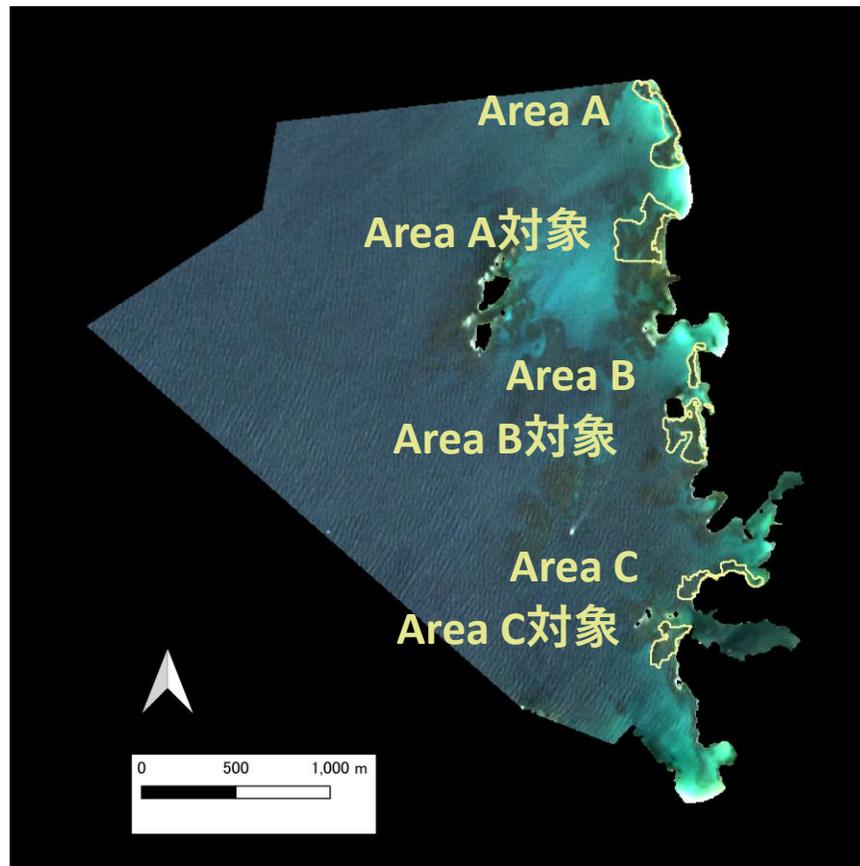


2021年5月6日



2022年5月4日

対象海域の比較



緑：増減なし
青：藻場域から藻場無しへ
赤：藻場無しから藻場へ

藻場の増減比較

	Area A		Area A対照海域	
	2021-2022	変化率	2021-2022	変化率
藻場増加	2988	7.8	2028	3.3
藻場減少	2088	5.4	8064	13.2
変化なし	33410	86.8	51051	83.5
合計	38486	100	61143	100

	Area B		Area B対照海域	
	2021-2022	変化率	2021-2022	変化率
	3312	39.8	2988	7.5
	0	0.0	4212	10.6
	5004	60.2	32510	81.9
合計	8316	100	39710	100

	Area C		Area C対照海域	
	2021-2022	変化率	2021-2022	変化率
藻場増加	8820	36.6	3420	14.7
藻場減少	2268	9.4	4032	17.3
変化なし	12997	54.0	15805	68.0
合計	24085	100	23257	100

注：2021-2022の単位は面積(m²)
変化率は**その海域**に占める%

藻場の面積変化率 (%)

	ウニ除去海域	対照海域
Area A	2.4%	-9.9%
Area B	39.8%	-3.1%
Area C	27.2%	-2.6%

ブルーカーボン藻場面積推定値

	藻場面積(m ²)		藻場増減率	藻場面積(m ²)	
	2021年5月	2022年5月		ウニ除去しない場合	ブルーカーボン藻場面積
Area A	17677	18577	1.050914	15697	2880
対照	48531	43094	0.887969		
Area B	1944	5256	2.703704	1857	3399
対照	27433	26209	0.955382		
Area C	7668	14221	1.854591	7316	6905
対照	13321	12709	0.954058		

全体で13,184 m²

藻場分類のユーザー精度は、

2021年5月に対して0.9485
 2022年5月に対して0.9027



面積の自己評価 0.9

坪刈結果(単位: 湿重g/0.25m²)

Station	カジメ類	ホンダワラ類	合計	優占構成種湿重量比
A-6	1649	36	1685	0.97864
B-2	2028	966	2994	0.67735
B-3	2110	854	2964	0.71188
C-2	0	1741	1741	1
C-3	0	2191	2191	1

A-6, B-2, B-3のカジメ類はアラメ。過大評価を避けるためこれらの湿重量を100%の被度と仮定。

