6. 藻場・アマモ場分布調査

6.1 調査目的

平成 25 年度業務では、平成 24 年度業務成果や既往の自然環境に関する情報を活用して「重要自然マップ」が作成されている。同マップでは、陸域の情報に関しては一連の本事業成果に基づく面的、悉皆的な「重要な自然」を表現している。しかし、海域の情報に関しては、震災後に行われた面的、悉皆的な整備情報がないため、第 5 回自然環境保全基礎調査（以下、「第 5 回基礎調査」という。）の「藻場、アマモ場」調査の分布図を用いて「重要な自然」を表現するにとどまっている。

海域において「藻場・アマモ場」は重要な生態系としてあげられるが、今震災ではアマモ場を中心に流失や地盤沈下による分布変化などの影響を受けたことが知られている。しかしながら、その実態については、モニタリングサイト 1000 や生態系監視調査などの定点モニタリングや一部の内湾部などにおける分布状況調査に限られ、面的かつ悉皆的な情報が不足している。

本調査では、これら不足する震災後の海域の重要な自然環境に関する情報として「藻場・アマモ場」を整備し、平成 27 年度に予定されている「重要自然マップ」の更新ならびに「震災影響評価」に資する基礎情報を得ることを目的とした。

6.2 調査方法

本調査の対象は、岩手県・宮城県・福島県北部の沿岸部であり、複雑な海岸線を含み、その延長は長大である（図 6.2）。このため、空中写真等を活用する必要があるが、従来手法のように、全てを目視判読により紙転写で新規に抽出し、図化することは非効率である。このことから、GIS・リモートセンシング技術による画像解析手法と熟練者による目視判読を組み合わせ、調査の効率化を図った。具体的には、画像解析により位置の補正と水深等の影響による藻場･アマモ場の可視性の向上、およびアマモ場・藻場・砂地・岩礁・深場等の領域抽出を行った。さらにそのようにして抽出された領域と補正された画像、豊富な経験を有する技術者が既存の藻場分布情報や水深等の GIS データを重ね合わせることで、目視判読により総括的に藻場・アマモ場の同定を行うことで、図化の精度向上と効率化と図った。

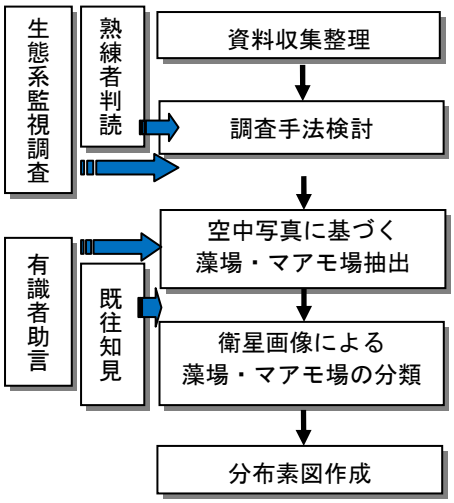
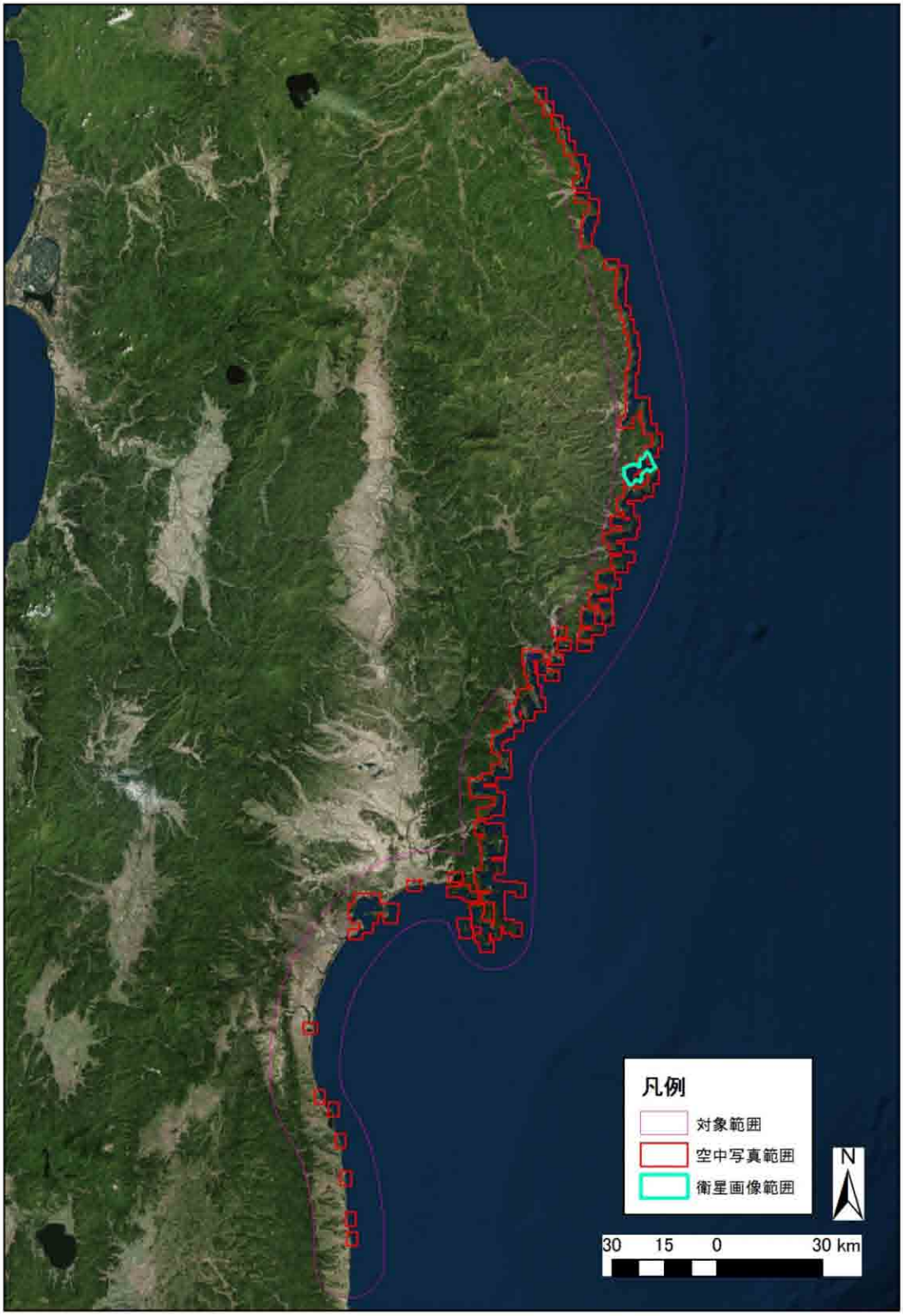


図 6.1 分布素図作成フロー

また、海面下の局所的な藻場判読には、高精細な画像が得られる空中写真が有利である一方で、1 枚あたりの撮影範囲が狭いことから、空中写真は画質が不均一であること、定期的に広範な範囲の画像が得られるとは限らないことに起因する弱点も有する。そこで本調査では、震災後に比較的好条件で撮影されている 2012 年国土地理院撮影の空中写真を主たる解析の対象としつつ、今後の継続的なモニタリングを見据えて空中写真の「撮影時期」「海象など撮影条件」などの違いにより発生する分布情報の取得が難しい状況に対応できるよう、空中写真撮影時期と近い時期のアーカイブ画像がある衛星画像から衛星画像解析による手法検討を行った。

なお、本調査の空中写真の対象範囲は「第 5 回基礎調査」で藻場・アマモ場が分布している地域とした。また、空中写真、衛星画像の画像解析については、リモートセンシングに詳しい有識者からの助言・指導を受け、より適切な手法で実施した。



注）「第 5 回基礎調査」で藻場・アマモ場の分布している地域を空中写真範囲とした

図 6.2　調査対象範囲

(1) 藻場・アマモ場調査の対象範囲と使用した画像

a. 藻場・アマモ場調査に使用する画像と入手方法

写真や衛星画像を利用した藻場･アマモ場の分布状況の把握には、撮影時期、波浪条件、濁り（透明度）などの条件が適切な画像を使用する必要がある。例えば、空中写真では、以下に示すような条件の画像が望ましい。しかし、そのような条件の写真が全域でかならずしも取得できるとは限らない。また今回は震災後に対象範囲全域で空中写真撮影がなされていたが、震災前、もしくは今後の分布情報取得を考慮した場合、空中写真のみでは限界がある。よって、表 6.1 の空中写真と衛星画像の違いを踏まえつつ、今後の衛星画像による手法構築の為、空中写真と併せて、一部区間については衛星画像も取得した（表 6.2）。

- **雲（雲影も含む）がかかっていないこと**：雲はもちろんのこと、雲影が写り込むと海面に影が入り、藻場と判別がつかない場合もある。
- **ハレーションが少ないこと**：太陽高度が高いと写真画像に“ハレーション（太陽の写り込み）が多くなり、水面下の情報を読み取ることが出来ない。このため、藻場分布解析を行うことを目的とした写真撮影では、太陽高度が低い時間帯（9～10 時頃）の撮影が望ましい。また、ハレーションを除去するために、通常のラップ率（オーバーラップ 60%）よりも高いラップ率（例えば 80%）で撮影することが望ましい。
- **潮位が可能な限り低いこと**：水中の情報を判読する際の阻害要因となる「海水」の厚さは極力薄い方が望ましい。従って、撮影時の潮位は可能な限り低い日時であることが望ましい。
- その他の条件：**海水の濁りが少ないこと**、**高波浪時でないこと**　など

（「平成 19 年度自然環境保全基礎調査自然環境概況調査報告書」（生物多様性センター）

表 6.1　空中写真と衛星画像の比較

項目	空中写真（DMC カメラ）	衛星画像
空間分解能	高精細な画像が得られ、底質判別や小さい藻場分布も判読も可能。	高分解能衛星では白黒約 30cm、カラー 2m できめの粗さも空中写真と同様。
画質・バンド	減衰が小さく、また近赤外画像を取得でき、植生判読に有利。	大気圏外からの撮影のため，青バンドを主とする水面下の情報の減衰がある。
画像の均質性	ハレーションなどにより、単写真内の画像にムラがでることもある。	均質性が高いため、解析誤差が発生しにくい。
撮影期間	長期間にわたるため、撮影日毎に画質が異なり、誤差の要因となることもある。	広域を短時間で撮影。

表 6.2　藻場・アマモ場調査に使用する画像と入手方法

使用画像	撮影時期	入手方法	選定理由など
空中写真 (国土地理院)	2012 年 10 月 ～ 2013 年 1 月	国土地理院より購入 写真枚数：約 500 枚	・ 震災後に撮影された写真である。 ・ 空間分解能 20cm と高精細で浅海部の底質判別も可能。 ・ 比較的短期間（4 ヶ月間弱）で撮影されている。 ・ 秋～冬季の撮影であり、海域の透明度が良好な時期で、判読に有効である。 ・ 縮尺 1/10,000 であり、十分に藻場判読に堪える。
衛星画像 (World View 2)	2012 年 6 月 ～ 2014 年 9 月	NTT 空間情報株式会社より購入 今後を見据えた衛星画像による手法検討に使用	・ パンクロマティックが約 50cm、マルチスペクトルが約 2m と空間分解能が比較的高い。 ・ 深浅測量や水草の検出に有効な Coastal Blue（400～450nm）のバンドを備えている。 ・ 可視域に紫・青・緑・黄・赤の 5 バンド、近赤外域に 3 バンドを備え、底質区分に有効なさまざまな情報が得られる。

b.　空中写真

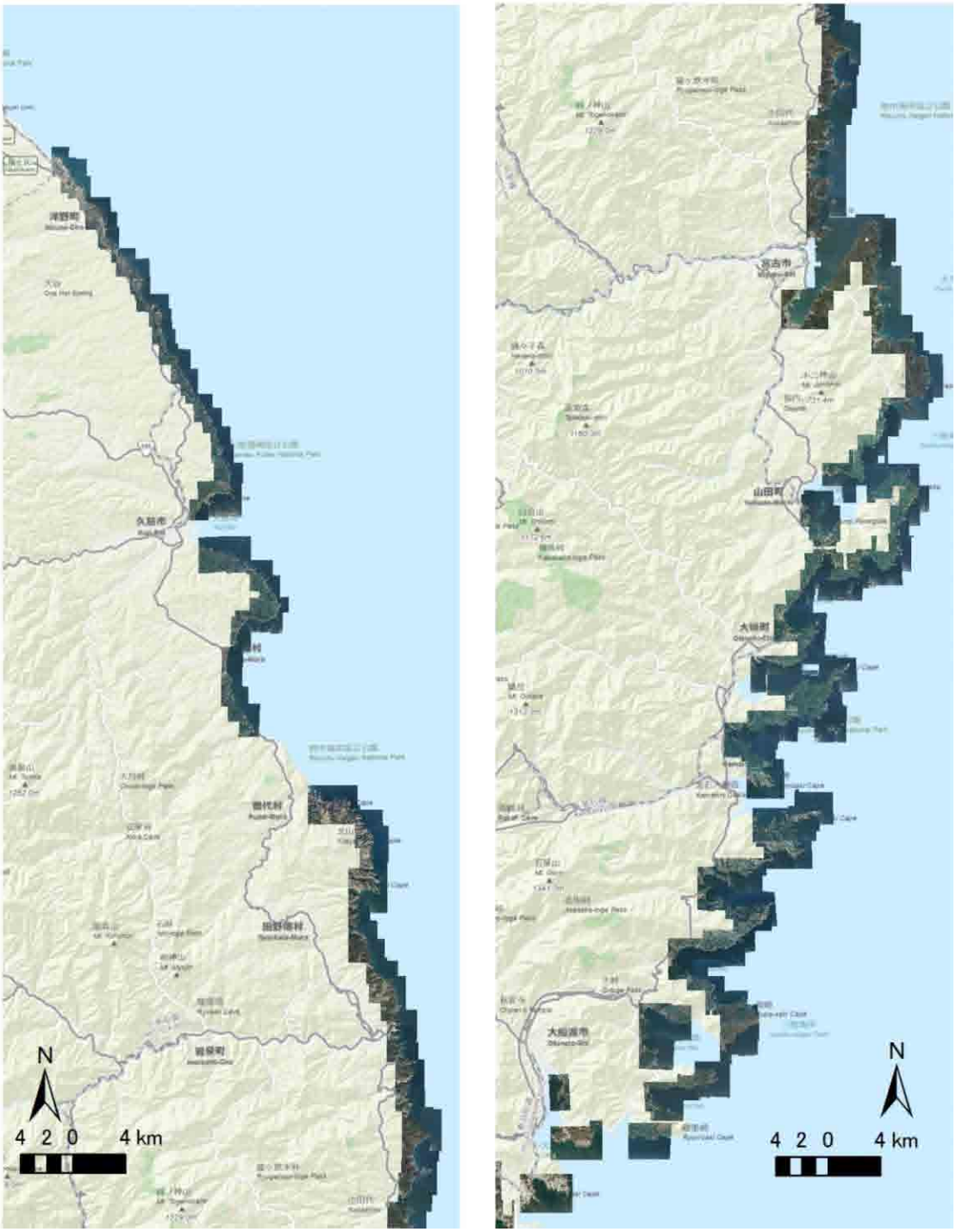
使用した画像の一覧を表 6.3(1), 表 6.3(2)に、取得した空中写真を図 6.3、図 6.4 に示す。

表 6.3(1)　使用した空中写真（岩手）

県名	地区名	地形図名	撮影年月日
岩手	八戸・久慈	久慈	2012 年 10 月
		陸中野田	2012 年 10 月
		階上岳	2012 年 10 月
			2013 年 4 月
			2013 年 5 月
	宮古	宮古	2012 年 12 月
		岩泉	2012 年 12 月
		田老	2012 年 12 月
			2012 年 12 月
		陸中野田	2012 年 12 月
		鮭ヶ崎	2012 年 12 月
	気仙沼	気仙沼	2013 年 1 月
			2013 年 2 月
		綾里	2013 年 1 月
	釜石	とどヶ崎	2012 年 10 月
		大槌	2012 年 10 月
		盛	2012 年 12 月
			2013 年 1 月
		綾里	2012 年 12 月
			2012 年 12 月
		釜石	2012 年 10 月
			2012 年 11 月
			2012 年 12 月
		霞露ヶ岳	2012 年 10 月

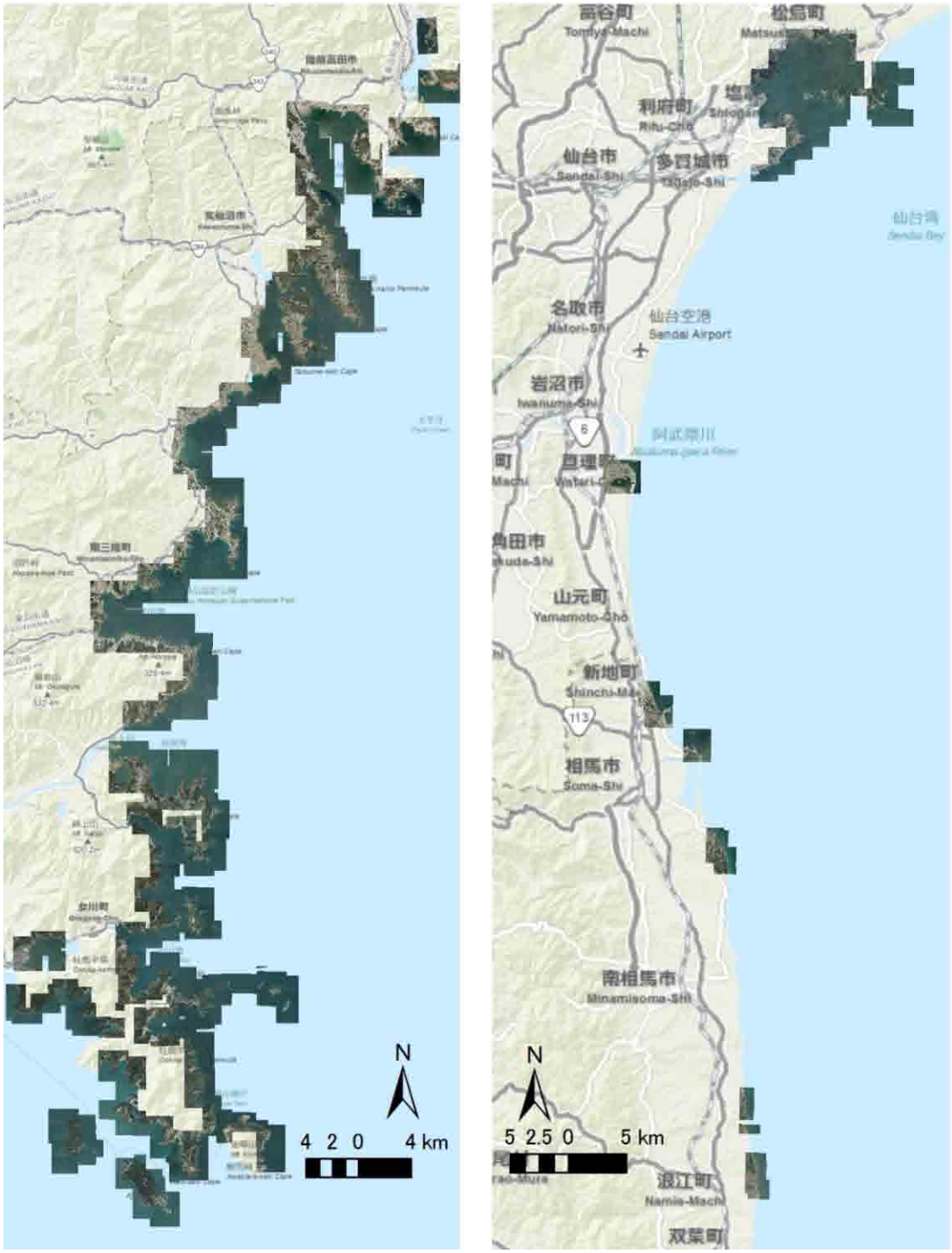
表 6.3(2)　仕様した空中写真（福島・宮城）

県名	地区名	地形図名	撮影年月日
福島	仙台相馬	相馬中村	2012 年 11 月
			2012 年 12 月
		角田	2012 年 11 月
			2013 年 1 月
	南相馬	大甕	2012 年 10 月
			2012 年 12 月
			2012 年 12 月
		磐城富岡	2012 年 12 月
宮城	仙台相馬	岩沼	2013 年 1 月
	気仙沼	大須	2012 年 12 月
		志津川	2012 年 12 月
		気仙沼	2012 年 12 月
			2013 年 1 月
			2013 年 2 月
		津谷	2012 年 12 月
		登米	2012 年 12 月
	石巻	塩竈市	2012 年 10 月
		大須	2013 年 1 月
		寄磯	2012 年 11 月
			2013 年 1 月
		松島	2012 年 10 月
		登米	2012 年 11 月
		石巻	2012 年 10 月
			2012 年 11 月
		金華山	2012 年 10 月
			2012 年 11 月
			2012 年 11 月
			2013 年 1 月



注）「第 5 回基礎調査」で藻場・アマモ場の分布している地域を空中写真範囲とした

図 6.3　空中写真の取得状況(1)



注）「第 5 回基礎調査」で藻場・アマモ場の分布している地域を空中写真範囲とした

図 6.4　空中写真の取得状況(2)

c. 衛星写真

使用した衛星画像（World View2）の緒元を表 6.4 に、取得した衛星画像を図 6.5、図 6.6 に示す。

表 6.4　使用した衛星画像の諸元（World View 2）

打ち上げ	2009 年 10 月 8 日
軌道高度	770km
パンクロマティックの波長	450-800nm
パンクロマティックの分解能	0.46m（直下視） 0.52m（オフナディア 20 度）
マルチスペクトルの波長	コースタル 400-450nm 青 450-510nm 緑 510-580nm 黄 585-625nm 赤 630-690nm レッドエッジ 705-745nm 近赤外 1 770-895nm 近赤外 2 860-1040nm 図 6.5
マルチスペクトルの分解能	1.84m（直下視） 2.07m（オフナディア 20 度）
観測幅	17.7km（直下視）

図 6.5　取得した衛星画像（山田湾～船越湾、観測日 2012 年 8 月 24 日）

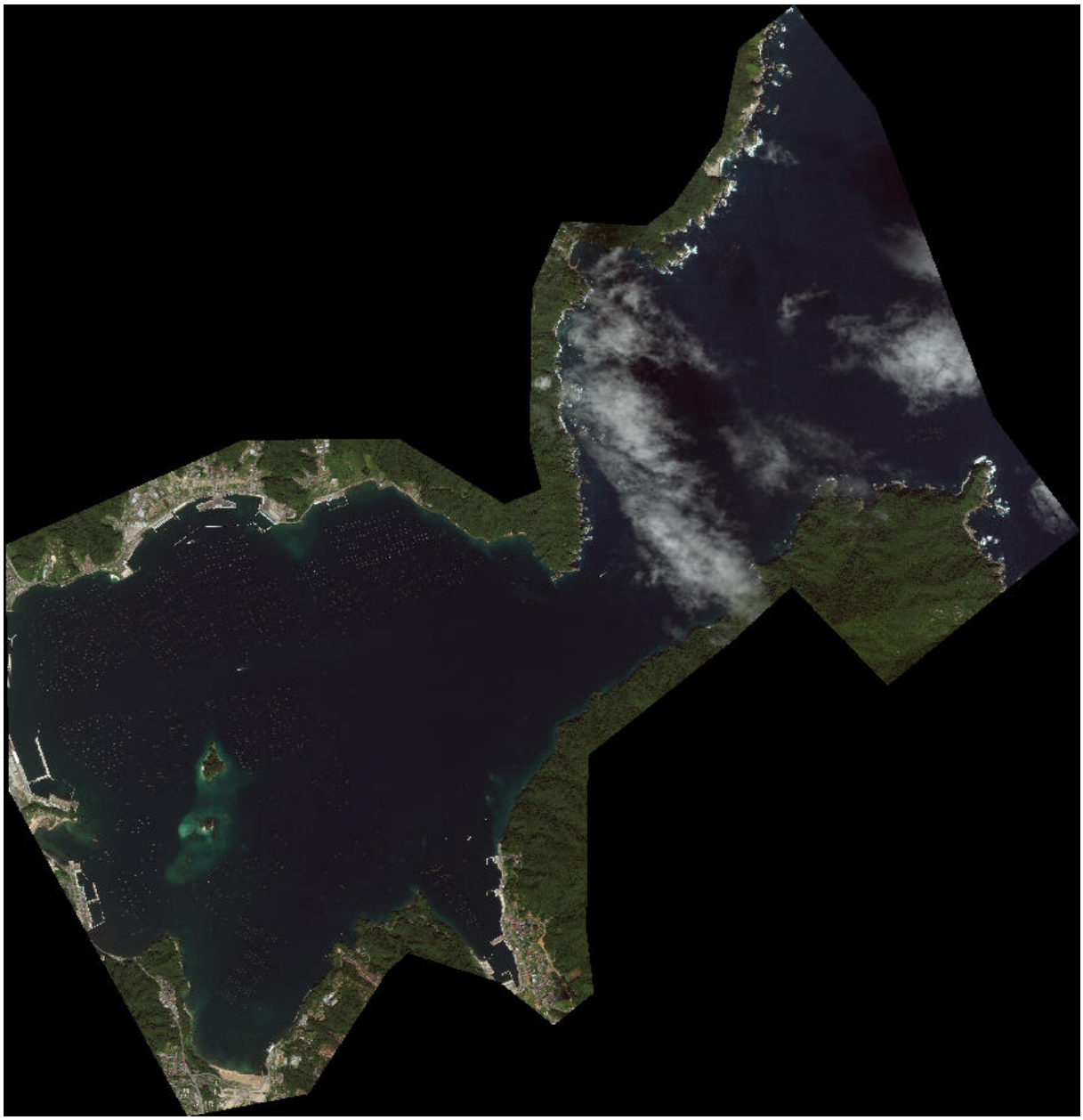


図 6.6　取得した衛星画像（山田湾、観測日 2014 年 9 月 12 日）

(2) 藻場・アマモ場分布図作成方法

a. 解析方針

- 空中写真判読に対し、まとまりを保ったまま省力的に図化するため、オブジェクトベース分類により群落境界の抽出を行い、熟練者の目視判読により藻場・アマモ場の判定を行った。
- 藻場・アマモ場判定に際しては、GIS 上で水深影響の補正や既存分布情報等を重ね合わせて属性付与することで、図化の分類精度向上と省力化を図った。
- 衛星画像については、大気・水深影響を補正した画像に対し、オブジェクトベース分類による領域特徴量を用いて機械学習により分類し、生態系監視調査の結果や目視判読結果に対する精度検証を行った。

b. 解析の流れ

1) 空中写真解析

空中写真画像の解析については、以下の流れで行った。

a) 前処理および藻場領域の抽出

- 国土地理院より購入した写真をオルソ補正
- 海岸線・水深データ（M7000 シリーズ）から、水深 30m以浅の範囲を抽出
- 水深データと RGB の輝度値から近似曲線により水深による減衰を補正
- ヒストグラム補正により藻場領域を強調
- オブジェクトベース分類により領域分割

航空写真または衛星画像にオルソ化処理を施し、海岸線データや海底地形図等を併用して浅海域の抽出を行った。さらに、水深データから画像の RGB に対する水深の減衰やヒストグラムによる藻場領域の強調を行うことで、藻場の視認性を向上したのち、オブジェクトベース分類により領域分割を行った。水深補正は、今回補正画像を目視判読することから、従来の底質指標（Lyzenga，1978）ではなく、各バンド輝度値を水深データを使用した近似式により直接補正する手法を使用した。検討の結果、今回は決定係数の高かった対数近似を用いた（式 1）。

なお、オブジェクトベース分類は、ピクセル（画素）ベースの画像解析手法と異なり、ある程度の誤差を包含して面（ポリゴン）を抽出する解析手法であるため、過去の藻場分布との比較においても、調査手法の違いをある程度解消可能である。

①水深データを用いた補正アルゴリズム

$$CDN(R,G,B) = k(R,G,B) \cdot \ln(DN) + b(R,G,B) \quad \text{.....式 1}$$

CDN(R,G,B) ：RGB バンドの補正後の輝度値

k(R,G,B) ：RGB バンドの消散係数比

DN(R,G,B) ：RGB バンドの補正前の輝度値

b(R,G,B) ：RGB バンドの補正定数値

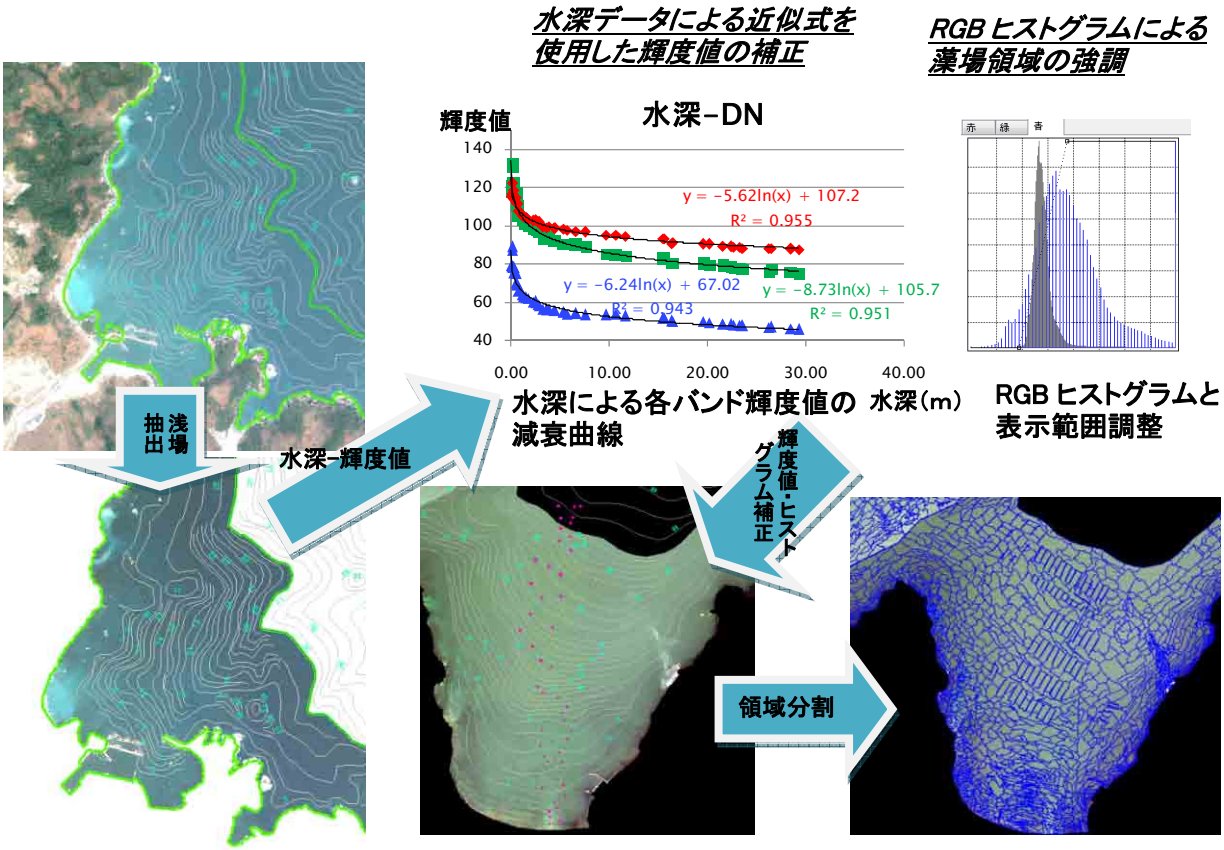


図 6.7　前処理～藻場・アマモ場領域抽出のイメージ（空中写真）

b)　藻場・アマモ場の判定と属性付与

- 補正画像と生態系監視調査結果等から判読キーを作成
- 領域分割画像、判読キー、既往藻場分布情報、水深データ等から総括的に藻場・アマモ場を熟練者が判定
- 他の熟練者による目視、および収集調査資料により分布結果を再度チェック

目視判読は、以下の表 6.5 に示す判読キーを参考に、空中写真や衛星画像を用いた藻場等分布調査の経験を有する技術者により行った。図 2.6.4 に藻場判読の事例を示す。

判読に長けた熟練者でも、例えば砂の中の岩盤をアマモ場と誤分類するなど誤判読が生じている可能性がある。また、藻場範囲について、判読者間で差異が生じる場合もある。そこで、GIS 上にて水深等を補正した画像を領域分割した画像に既存の藻場分布情報や等水深線を重ね合わせて、被度 2 以上の植分に対してそれらの情報から総括的に藻場・アマモ場を判定して属性を入力することで誤判読の軽減を図った。なお、判読段階では、各判読者の技量に応じて藻場・アマモ場からさらにワカメ場、コンブ場等のタイプ区分をおこなった。タイプ区分、もしくは藻場・アマモ場区分が困難な場合は不明とした。最終的に図化する段階で、全体の判読精度等も踏まえてどこまで細分して図化するかを定めることとした。また、チェック・修正にあたっては、属性入力した技術者とは別の技術者が、既存資料の分布情報を参考にして効率的に行った。

表 6.5　藻場・アマモ場判読における判読キーの例

判読キー / 藻場タイプ	色　調	き　め	生育基盤
アマモ場	緑色と薄茶色の混在	細かく パッチ状	砂泥
岩礁性藻場	褐色	粗い	転石，岩盤，礫
	暗褐色	なめらか	
その他の藻場	黄緑色，緑色	なめらか	転石，岩盤，礫，砂泥
	茶色，こげ茶色	細かい	転石，岩盤，礫

【アマモ場】	【アマモ場と岩礁性藻場】	【岩礁性藻場】
• 色調は薄く，わずかに緑色 • “きめ”は細かい • パッチ状の分布	• うっすらとした色合いのアマモ場とくっきりした暗い色の岩礁性藻場	• 色合いは濃く暗い • 岩礁のパターンと同じ分布 • 岩の間の白い部分は砂質

図 6.8　判読キー作成と藻場・アマモ場判定のイメージ

2)　衛星画像解析

衛星画像の解析については、以下の流れで行った。

ア　前処理および藻場領域の抽出

- 衛星画像を RPC 注 1)モデルおよび GCP 注 2)により精密オルソ補正
- 大気モデル（海洋）を使用して大気補正（ENVI FLAASH を使用）
- 海岸線データおよび水深データ（M7000 シリーズ）から、水深 30m以浅の範囲を抽出
- 水深データと RGB の輝度値から近似曲線により水深による減衰を補正
- ヒストグラム補正により藻場領域を強調

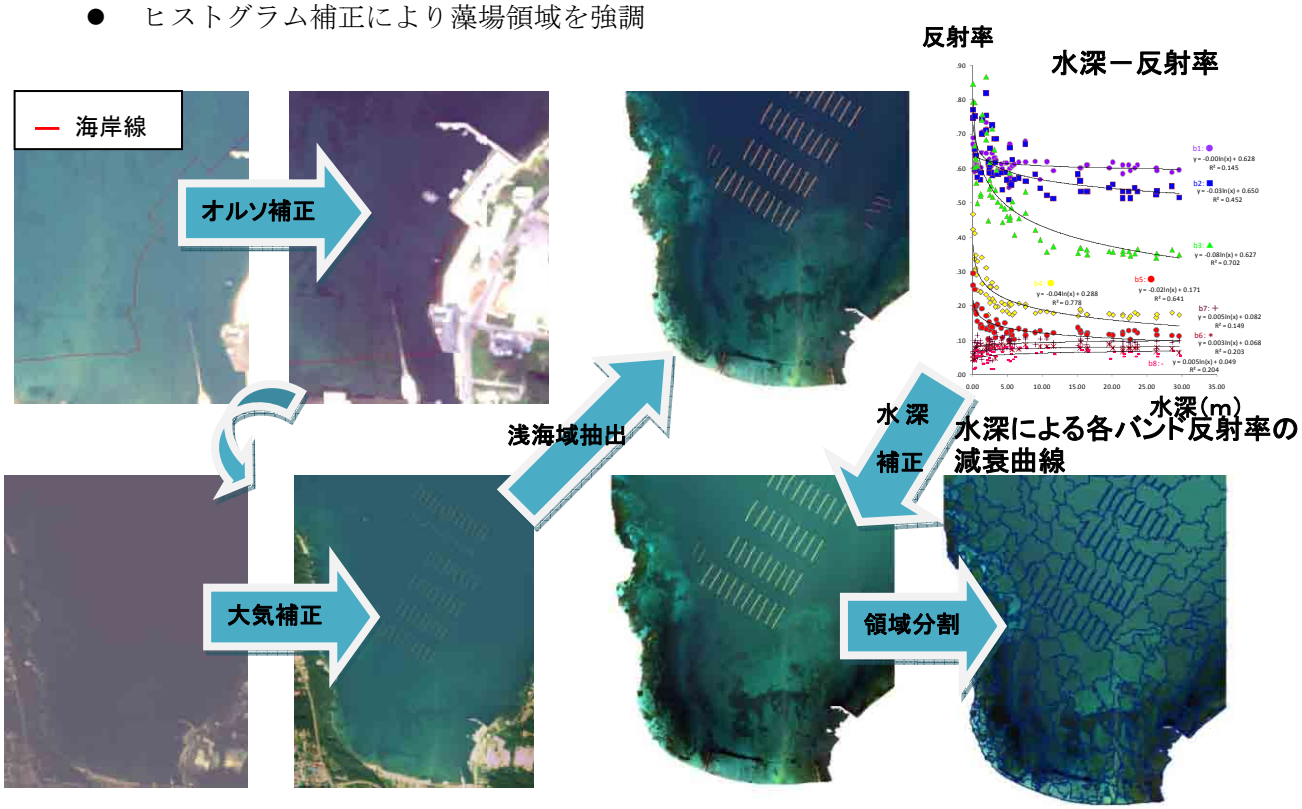


図 6.9　前処理～藻場・アマモ場領域抽出のイメージ（衛星画像）

注 1) Rational Polynomial. Coefficients の略で人工衛星の位置・姿勢・センサタイプから導かれる三次元多項式の分数関数。同モデルにより、衛星画像による高精度なオルソ補正が可能になる。

注 2）Ground Control Point の略で、衛星画像の正確な位置関係を調べるために測定する地上の点

b)　教師データの割り当てと領域特徴量の算出

- 生態系監視調査データを参考に熟練者の判読により教師データを設定
- 分割領域単位で特徴量を算出
- 各区分から箱ひげ図により分類に使用する特徴量を選択

まず、確実に藻場・アマモ場であり、分類（モデリング）の参照用となる領域の選定を「東北地方太平洋沿岸地域生態系監視調査」の調査結果と熟練者による目視判読により行った。

藻場、アマモ場、砂、岩礁などの底質の違いは、画像上の見た目の特徴に表れる。そこでオブジェクトベース分類で抽出した浅海域の個々の領域の特徴量（RGB 平均・標準偏差・歪度・コントラスト・テクスチャ等）を算出した。特徴量は、オブジェクトベースによる植生分類で実績のある表 6.6 の特徴量を用いた。

上記で設定した参照領域について、既往の知見、有識者の助言も踏まえつつ、箱ひげ図等により各区分（藻場・アマモ場・その他浅海域等）の特徴量の傾向整理を行い、分類に有効な特徴量を選定した。

特徴量算出から機械学習による分類のイメージを図 6.10 に示す。

表 6.6　解析に使用した特徴量

No.	特徴量	説明
1	輝度	全レイヤーによる正の整数
2	コントラスト	隣接するピクセルとの平均による差
3	同時生起行列・角 2 次モーメント	局所的な反射率の平均（非線形）
4	同時生起行列・コントラスト	局所的なコントラスト（非線形）
5	同時生起行列・相関	局所的な線形従属性
6	同時生起行列・異質性	局所的なコントラスト（非線形）
7	同時生起行列・エントロピー	局所的なエントロピー
8	同時生起行列・均一性	局所的な類似度（コントラストの無さ）
9	同時生起行列・平均	存在率を加味した反射率の平均
10	同時生起行列・標準偏差	局所的な標準偏差
11	最大値	最大値
12	最大差	最大輝度値と平均輝度値の差
13	平均値	相加平均値
14	外側縁辺平均値	外側縁辺平均値
15	内側縁辺平均値	内側縁辺平均値
16	最小値	最小値
17	最頻値	最も頻繁に出現する値
18	第 2 四分位点	50%分位点
19	輝度値割合	レイヤーの輝度値平均に対する輝度値相対値
20	歪度	分布の非対称性
21	隣接ピクセルとの標準偏差	隣接するピクセルとの標準偏差
22	標準偏差	標準偏差

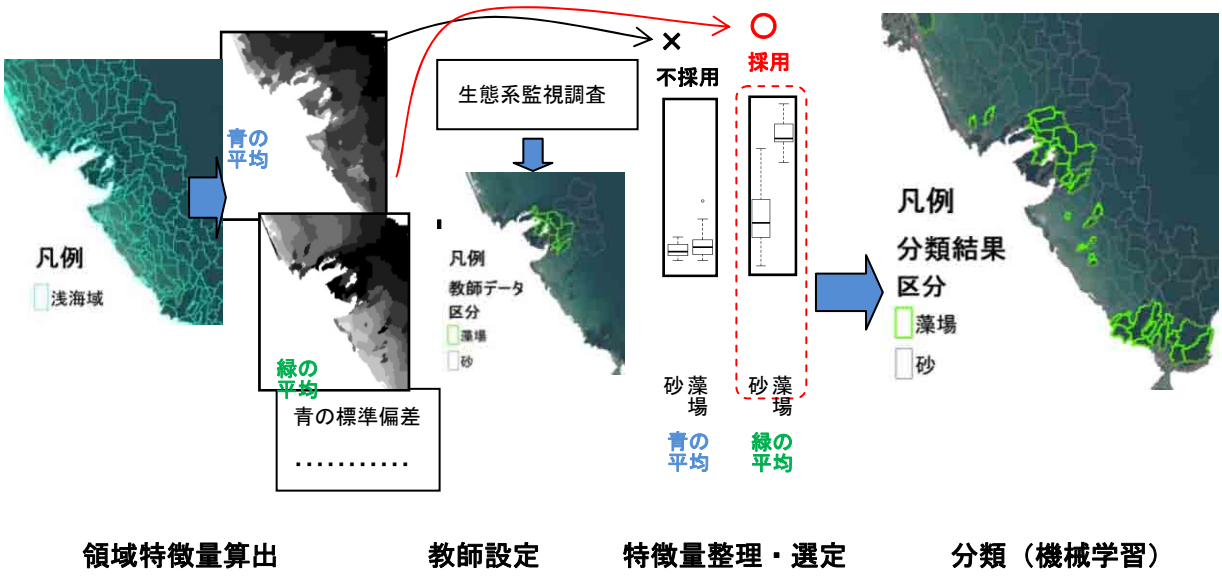


図 6.10　領域特徴量算出～分類のイメージ

c)　機械学習による分類と分類妥当性評価

- 算出した領域特徴量と教師データから機械学習により分類
- 分類結果に対し、エラーマトリクスおよび目視により妥当性を評価

先に選定した参照領域を教師データとして分類モデルを構築して対象領域の分類を行った。衛星画像は画像ごとに傾向や分類の閾値が異なることから、閾値が変動する場合でもより妥当に分類でき、ノイズの影響を抑えて様々な情報（色や水深）を総合的に捉えられる機械学習の手法を分類手法として採用した。

分類手法として、植生分類で実績のある以下の２つの機械学習による手法を使用した。今回、精度検証が可能な現地データは生態系監視調査の数地点のみであるため、分類精度の検証は困難と判断された。そこで、この２手法の分類結果に対し、生態系監視調査に基づく判読による教師データとの整合性や分類結果による藻場・アマモ場の分布状況から、教師として割り当てた藻場・アマモ場等の局所的な情報が妥当に展開されているかどうかを評価した。

ア　K-Nearest Neighbor 法

K-NN 法は，対象となるサンプルに対して、そこからより近いサンプルを k 個選んだ際、ユークリッド距離による類似性を求め、最も多い分類クラスに割り当てる手法である。図 6.11 に KNN 法の概念図を示す。1-NN 法に比べて、サンプル内のノイズに対して誤分類を防ぐことが可能である。しかし、分類性能を向上させるためには、多くのサンプルを学習させる必要があり、膨大な記憶容量が必要となる。

K-NN 法には，eCOGNITION ver.9 を使用した。

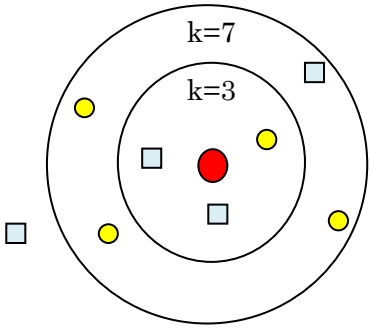


図 6.11　KNN 法の概念図

イ　SVM 法

SVM 法は，線形では分離できない複雑な分布をしているクラスを，超平面を作成することによって非線形に分類する手法である。図 6.11 に SVM 法の概念図を示す。超平面は，各クラスを分離する平面と，各クラスのデータ間の距離（マージン）が最大となるマージン最大化という制約条件のもとに決定される。このような超平面を探索することは困難であったが，カーネル関数を用いてデータを特徴空間に写像し，その特徴空間上で線形分離することにより，元々は複雑な非線形分類であった各クラスを，線形分類できるようにしたものである。今回はカーネルとして Gaussian Radial Basis Function カーネル（RBF）を用いた。各クラスのスペクトルを x および x'とすると，RBF は式 3 となる。

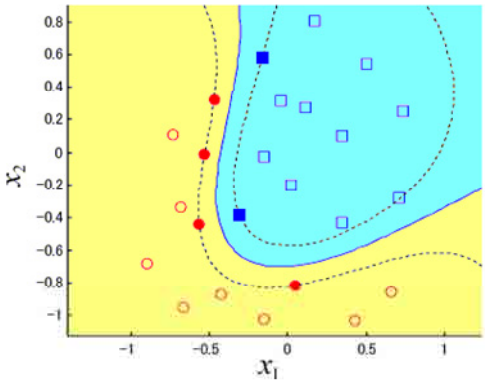


図 6.12　SVM 法の概念図

$$k(x,x') = \exp(-\sigma \| x - x' \|^2)$$

……式 3

本業務では，RBF カーネルを用いた ν 分類によって分類した。ν は，マージン最大化によって超平面を決定する際に，汎化能力を上げるためにあえて無視するトレーニングデータの範囲である。ν を 0 にし，トレーニングデータを全て考慮して分類モデルを構築すると，複

雑な超平面となり，トレーニングデータの分類はできるものの，汎化能力は低下する。ある程度の ν を設定すると，汎用的な分類モデルを作成する際に不都合なデータを適度に無視することができ，汎用性のある分類モデルを構築することができる。本業務では様々な ν を適用し，その結果得られた分類精度が最も良い ν を最適なパラメータとして選択した。なお，RBF カーネルにある σ は，Sequential Minimal Optimization（SMO）によって，最適な σ が選択される。SVM 法には，統計解析ソフト R の Kernlab パッケージを用いた（Karatzoglou et. al., 2004）。

6.3　調査結果

(1)　空中写真に基づく調査結果

a.　各地域における藻場・アマモ場の抽出とタイプ区分推定の状況

空中写真に基づき作成した藻場・アマモ場の分布図を資料編震災後藻場分布図に、地域別での藻場・アマモ場の抽出状況とタイプ区分推定の状況を、図 6.14 に示す。

本調査で対象とした岩手県から福島県北部沿岸の全調査対象海域では、アマモ場 154.4ha、岩礁性藻場 3036.8ha、不明 1264.7ha であった。岩礁性藻場の内訳は、コンブ場 947.5ha、ワカメ場 1418.7ha、ガラモ場 192.8ha、その他 477.7ha であった。

藻場・アマモ場の各地点における抽出事例として、山田湾、船越湾、松川浦の藻場・アマモ場の今回の画像解析と判読を併用した抽出結果と藻場・アマモ場のタイプ区分推定に第５回調査を重ね合わせた図を図 6.14 に示す。

各地点とも第５回基礎調査の結果と比較して、大縮尺での図化がなされている。また、山田湾大島周辺のアマモ場を例として、大縮尺化に伴い新たな藻場・アマモ場が随所で抽出されている。さらに山田湾大島南側で第５回基礎調査ではガラモ場とされている場所を生態系監視調査の結果を踏まえてアマモ場として推定しているなど、分布情報の縮尺やタイプ区分の高精度化が図られている。

しかし、アマモ場の消失が報告されている松島では、水の濁りのため、深い場所でのアマモ場の視認が困難になっている。また、事前の現地調査等の結果から、たとえば山田湾最奥のアマモ場とされているところでもワカメやガラモが優占している場所がある。今回、現地調査データが極めて限られていること、また特に岩礁性藻場については、複数の優占種が生育し、大局的に見て〇〇場という判断が難しい場合も多いことを考慮すると、最終的な区分としてはアマモ場・岩礁性藻場の２区分にとどめることを今後検討する必要がある。

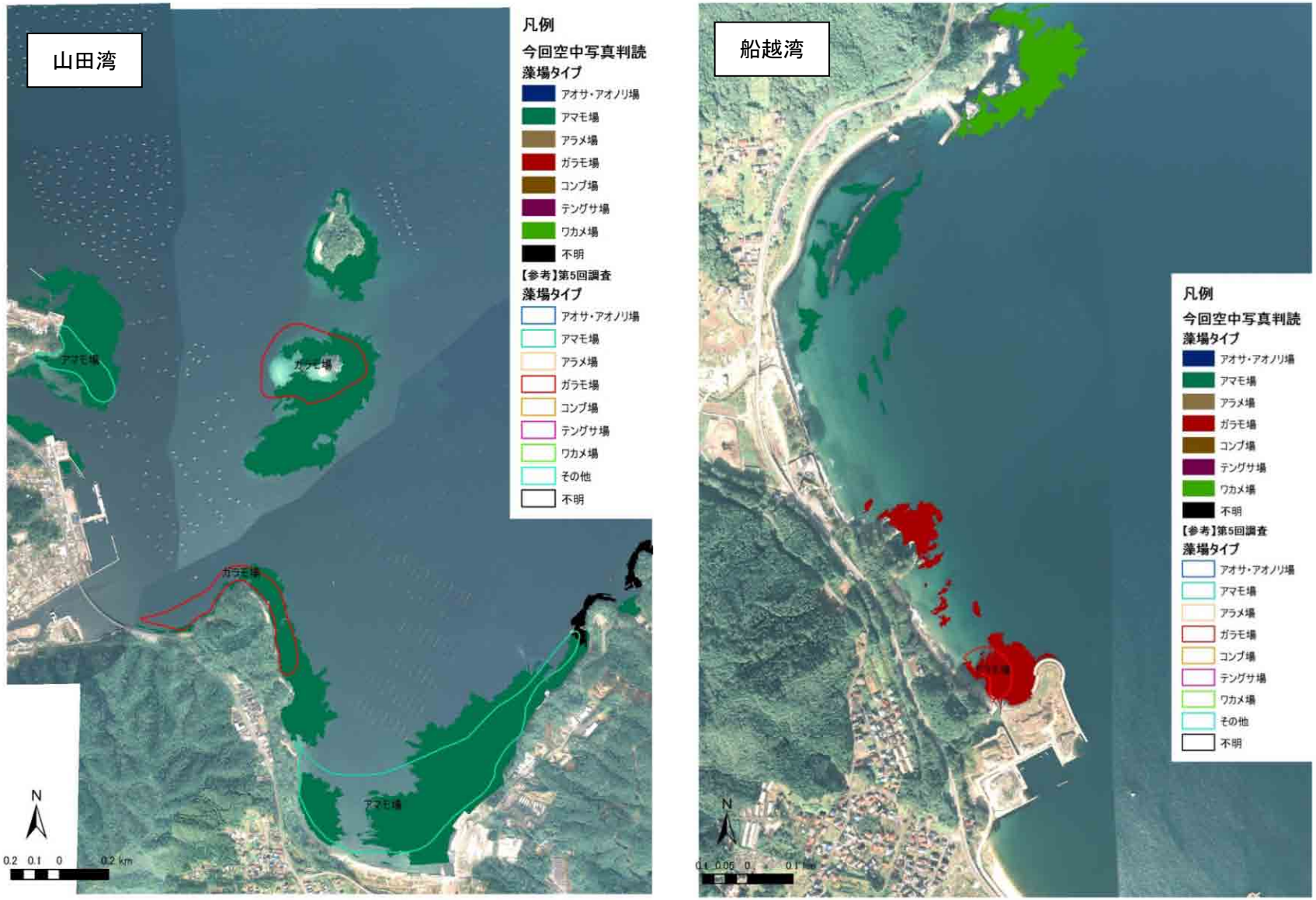
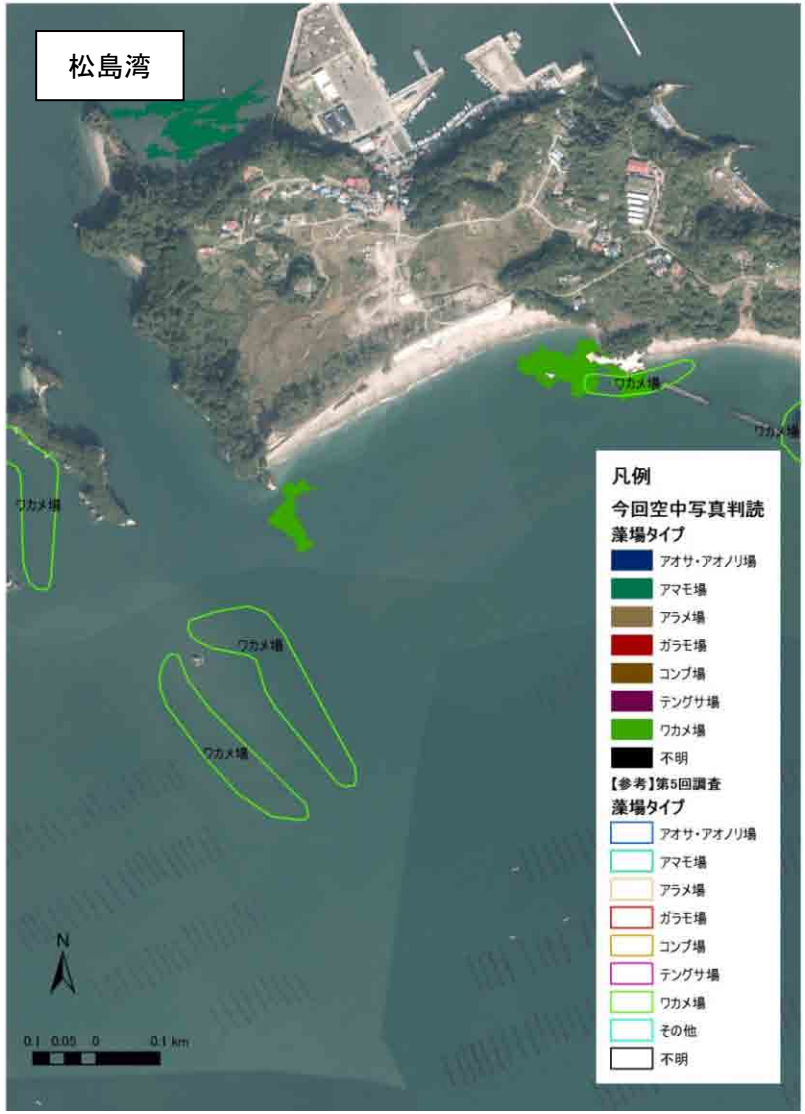


図 6.13　藻場・アマモ場抽出状況とタイプ区分推定（山田湾、船越湾）



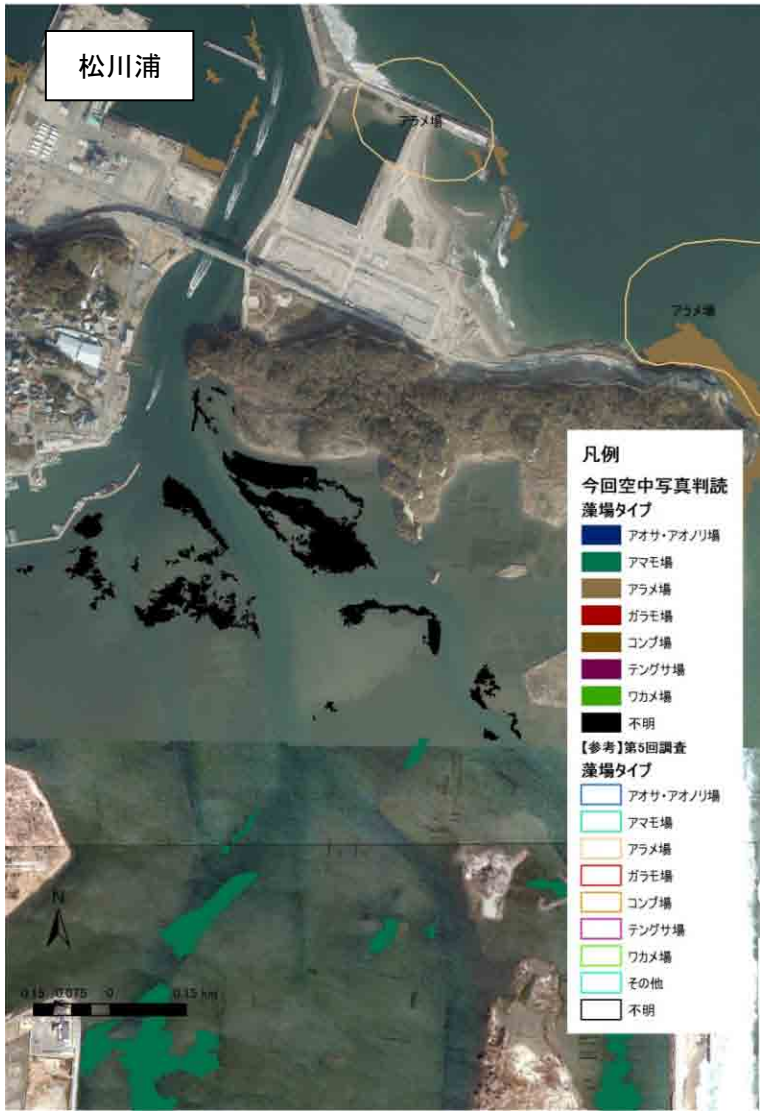


図 6.14　藻場・アマモ場抽出状況とタイプ区分推定（松島湾、松川浦）

沿岸別の藻場分布の特徴は以下のとおりである。沿岸ごとの藻場分布概況を図 6.15～図 6.19 に示す。

1) 三陸北沿岸（青森・岩手県境～宮古市とどヶ先：震災後藻場分布図-岩手-1-～岩手-11）

三陸北沿岸の地形は、海岸線には大きな湾入はなく海食崖が続き、陸域は海生段丘が発達している。浅海域は、三陸南沿岸のリアス海岸と比べると緩やかな海底地形で海岸線付近に平磯が分布する場所が多く、ウニ、アワビなどの磯根水産資源の漁場として利用されている。

a) 岩礁性藻場

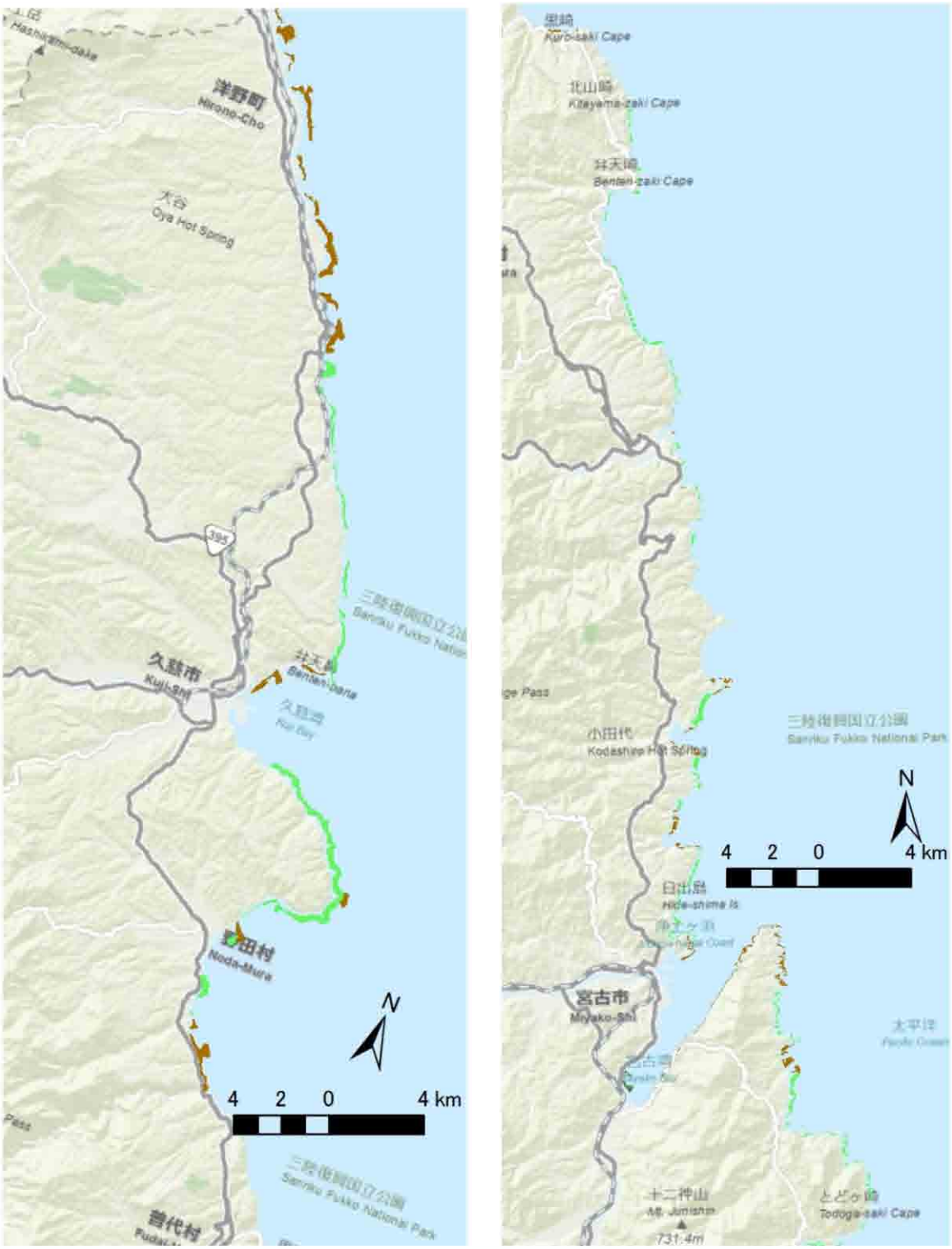
岩礁性藻場がほとんどで、上述のように比較的地形勾配が緩やかな岩礁が分布するため、藻場も岸沖方向に幅を有する分布を呈している。本調査解析結果では「不明」を除くとコンブ場またはワカメ場が、ほぼ沿岸全域で認められたが、岩手県水産技術センター(2013) (i) などによると、コンブ類とワカメなどの大型褐藻は季節により同じ場所で繁茂するとされ、秋季～冬季はホソメコンブを中心とする「コンブ場」であり、コンブ類が枯死した後にワカメが繁茂する「ワカメ場」となるとの報告がある。また、大型褐藻類はコンブ類が優占するが、ウガノモク、フシスジモクやアカモクといったホンダワラ類も混生する。

b) アマモ場

砂泥域に分布するアマモ場は、宮古湾奥部で局所的に確認されている。

宮古湾奥部には被災前よりアマモ場が発達することが知られており、国土交通省国土技術政策総合研究所（ii）や独法）水産総合研究センター東北区水産研究所（iii）ほかによる震災後の調査（2011 年～2012 年）によると、アマモ類は被災直後の 2011 年は湾奥部にわずかに点生する程度であったが、2012 年になると、高浜～金浜地先、小堀内地先にアマモ場が回復し、湾東岸の葉の木浜や大田浜地先にも規模は小さいものの、アマモ場の分布が確認されている。

本調査で宮古湾奥部のアマモ場の抽出が局所的であったのは、撮影時に宮古湾奥部の濁りが目立ち、これにより抽出できなかった可能性が大きいと考えられる。



藻場タイプ

アオサ・アオノリ場　アマモ場　アラメ場　ガラモ場
コンブ場　テングサ場　ワカメ場　不明

図 6.15　沿岸ごとの藻場分布概況（三陸北沿岸）

2) 三陸南沿岸（宮古市とどヶ崎～石巻市渡波地先：震災後藻場分布図-岩手-12～宮城 17）

深く湾入するリアス海岸であり、個々の湾奥陸部には扇状地性の地形が発達し、その地先に砂浜が分布することが多い。湾側部や湾外の岩礁海岸は急深な地形となっており、浅海域は発達しない。湾内は静穏な海域であるため、ワカメ、カキ、ホタテ、ホヤなどの多様な養殖場として利用されている。

a) 岩礁性藻場

岩礁性藻場は、外海に面した岩礁海岸や深く湾入する湾側岸に分布するが、急深な海底地形を反映し、岸沖方向の分布幅は狭く、海岸線に貼りつくような分布が特徴である。

本調査解析結果では、沿岸の北端から綾里湾付近までは、コンブ場とワカメ場が大半であるが、山田湾、船越湾、両石湾、吉浜湾、越喜来湾、綾里湾の一部に「不明」と「ガラモ場」の分布がみとめられた。

碁石海岸から門之浜湾、広田湾以南にはアラメ場がみられるようになる。

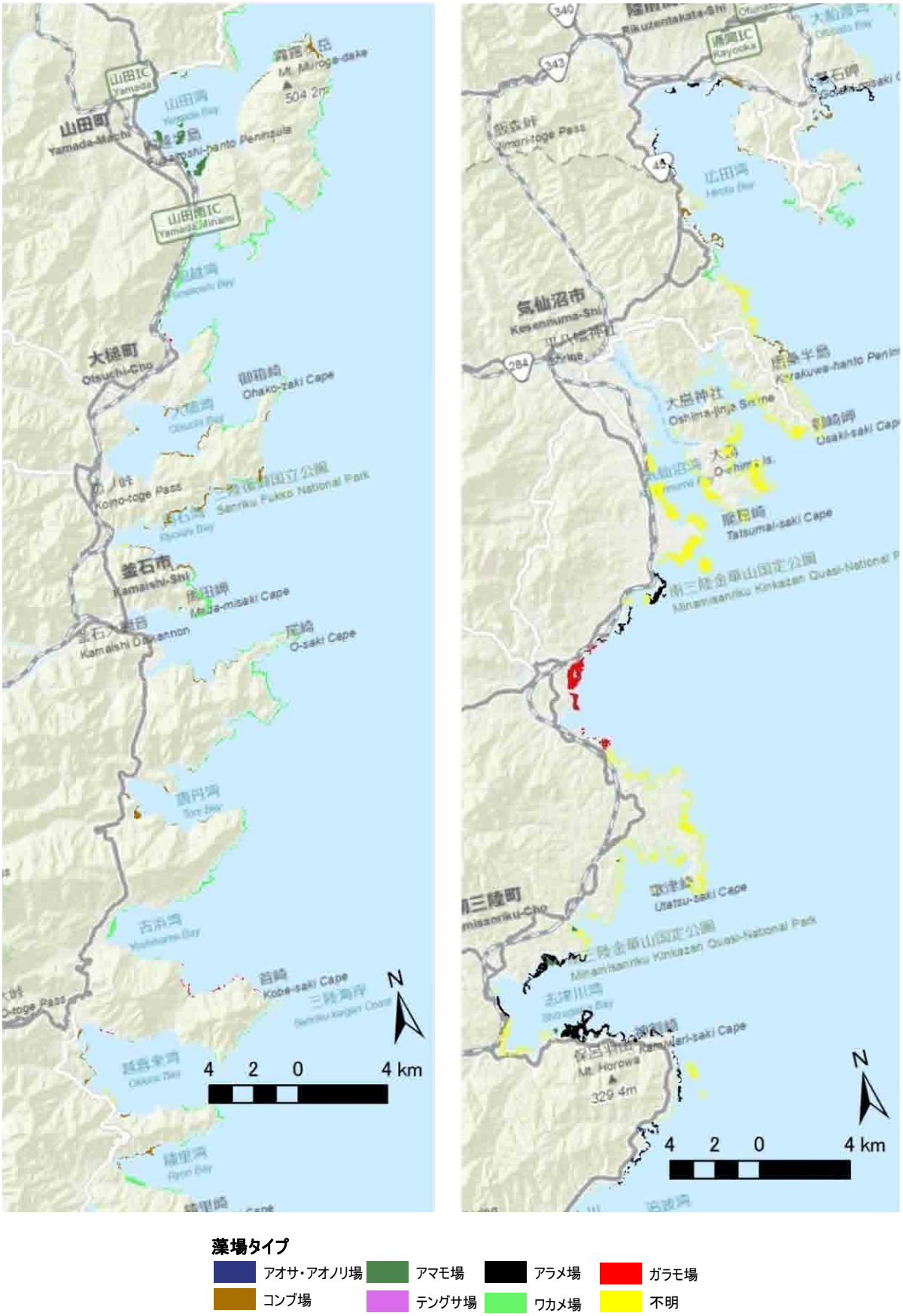
宮城県沿岸に入ると「不明」が多くなるが、震災前の調査報告（iv）を参照すると、褐藻のアラメ、ワカメ、コンブ類、ホンダワラ類（アカモク、エゾノネジモクなど）が主体となっているものと考えられる。「不明」を除くと、アラメ場の分布が多く、広田湾の一部、本吉湾大谷・天ヶ沢地先、志津川湾内岩礁域、女川湾から牡鹿半島の太平洋岸にみられる。また、本吉湾付近、五部浦湾、鮫浦湾、牡鹿半島西岸の小渕浜付近、田代島では、ガラモ場の分布が認められた。

b) アマモ場

本調査解析結果では、山田湾、船越湾奥部で認められたのみであった。

第 5 回基礎調査によると、アマモ場は、岩手県沿岸では、山田湾、唐丹湾、大船渡湾、広田湾、宮城県沿岸では、志津川湾、鮫浦湾に分布するとされる。震災後に行われたアマモに関する調査報告（v,vi,vii,viii）や有識者ヒアリング結果によると、第 5 回基礎調査に示された分布の他、岩手県沿岸では、船越湾、大槌湾、越喜来湾においてアマモ類の分布が報告されている。しかし、震災後に行われた調査報告では、アマモ類の分布を面的に報告している事例は、岩手県により行われた広田湾奥部における調査（ix）などに限られている。宮城県沿岸の震災後に行われている調査報告では、志津川湾では、震災直後にはアマモ類の分布は極端に減少したが、2012 年の調査（x）ではタチアマモの密生やアマモの生育が確認されており、回復している様子がうかがえる。また、牡鹿半島東岸における調査（xi）では、2011 年 8 月にはアマモ類は草体がわずかに残存する程度であったが、2012 年 1 月には実生の生育（被度：＜5%）が認められ、2013 年 1 月には若干とはなるが群落の広がりが観察されていることが報告されている。

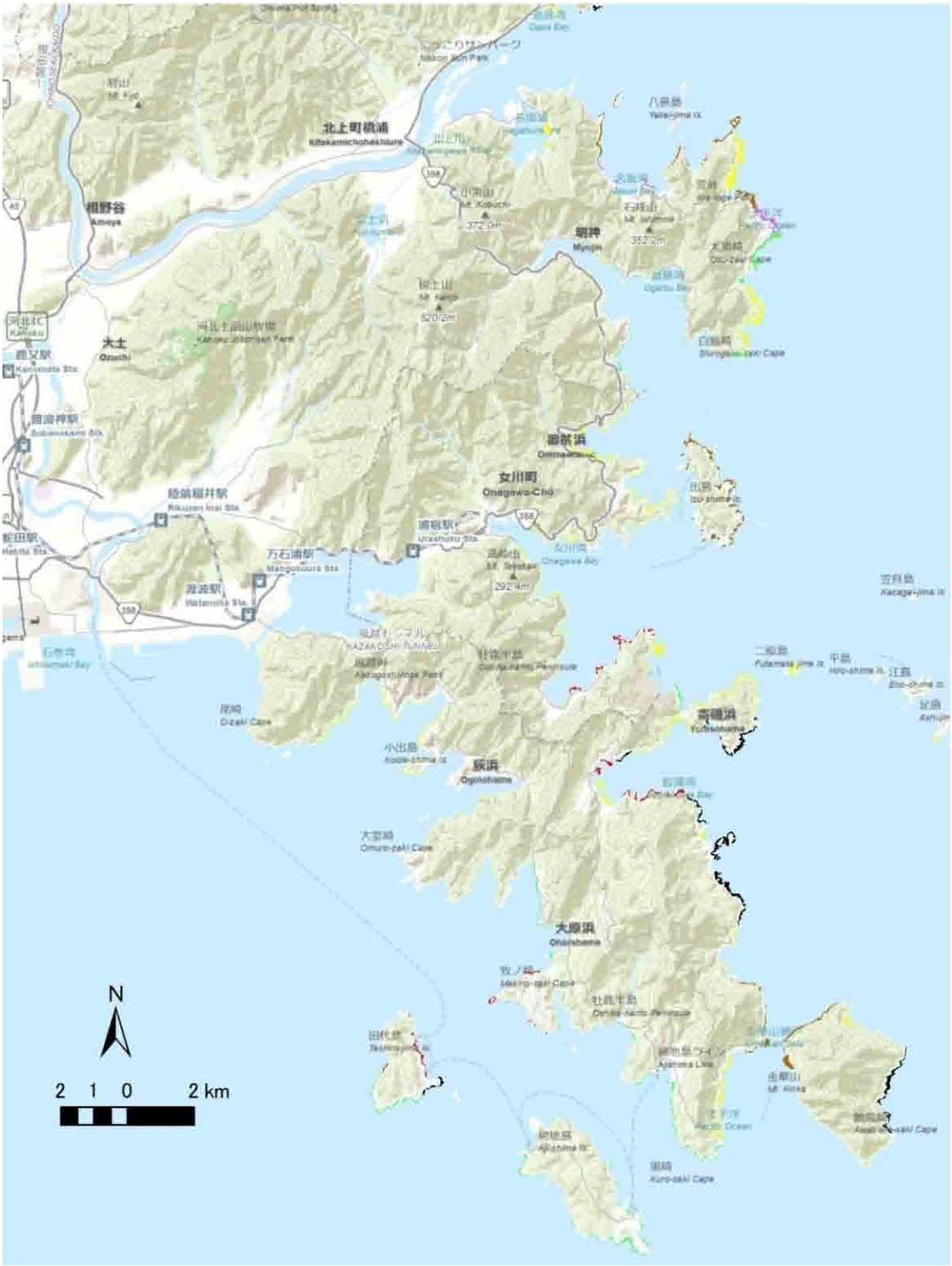
以上のように、本調査解析結果では震災後にアマモ類が分布することが報告されている海域のうち、一部の抽出に留まった。これは、本調査解析で用いた写真はアマモ類が震災による被害から十分に回復していない 2012 年の秋季から冬季に撮影されたものであり、写真上で十分に確認できる程度の生育がなかったことによる可能性がある。



藻場タイプ

アオサ・アオノリ場	アマモ場	アラメ場	ガラモ場
コンブ場	テングサ場	ワカメ場	不明

図 6.16　沿岸ごとの藻場分布概況（三陸南沿岸 1）



藻場タイプ

アオサ・アオノリ場	アマモ場	アラメ場	ガラモ場
コンブ場	テングサ場	ワカメ場	不明

図 6.17　沿岸ごとの藻場分布概況（三陸南沿岸 2）

3) 仙台湾沿岸・福島沿岸北部（石巻市渡波・万石浦～相馬市松川浦：震災後藻場分布図-宮城-18～福島-1）

弓状の長大な砂浜を主体に多島海景観の内湾、潟湖、大河川の河口部などを擁する複合的な地形を持つ沿岸である。外海に面した砂浜が大半を占めるが、万石浦、広浦、鳥の海、松川浦などの潟湖、松島湾を中心とした島嶼群に岩礁がみられる。

a) 岩礁性藻場

岩礁海岸は松島湾内の浦戸諸島の外海側、七ヶ浜町地先の一部、相馬港周辺の一部に限られるため、岩礁性藻場の分布はこれら岩礁域に限られる。浦戸諸島の太平洋に面した岩礁や七ヶ浜町地先の岩礁ではガラモ場、アラメ場、ワカメ場が、相馬港周辺の岩礁ではアラメ場が認められている。

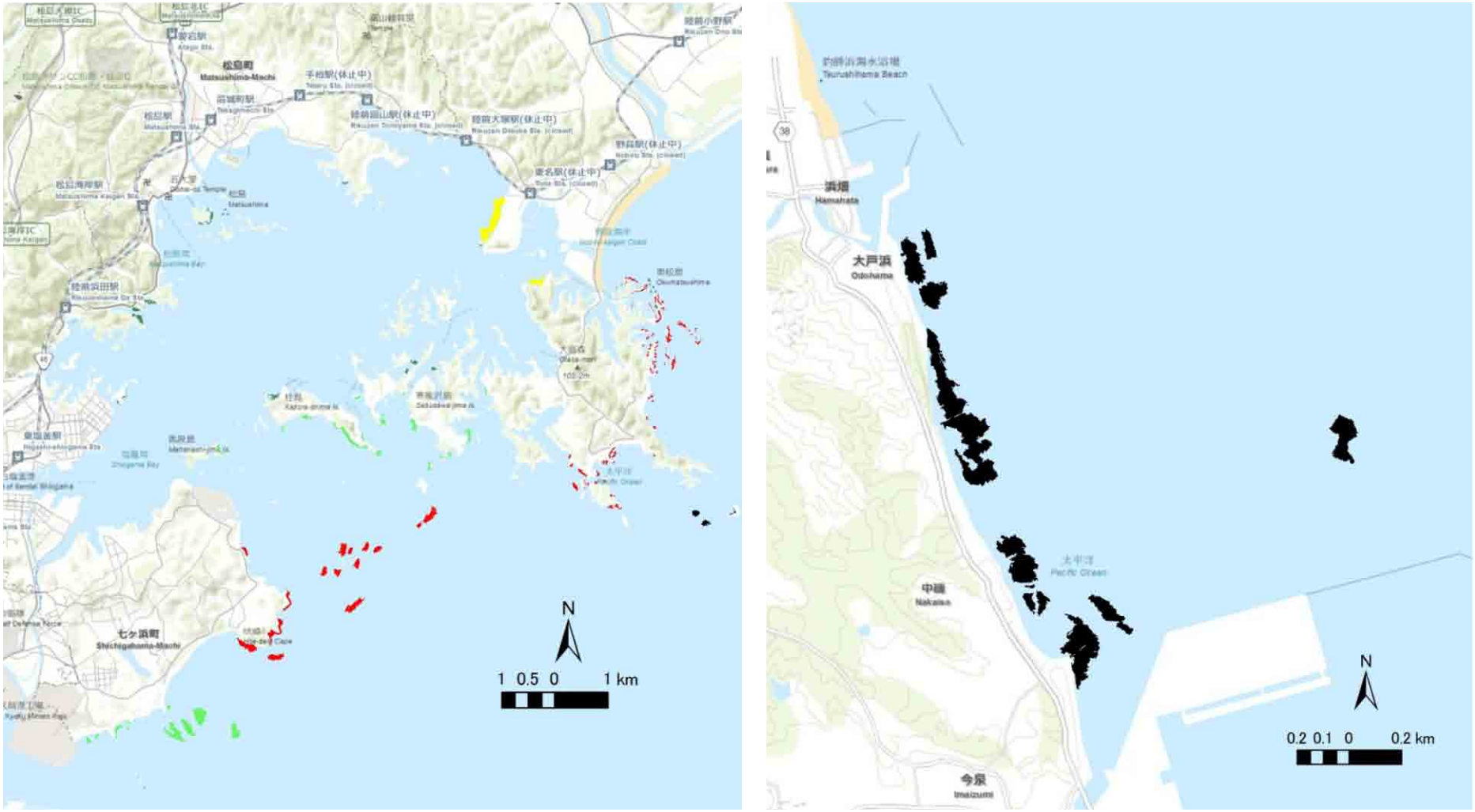
第 5 回基礎調査によると、浦戸諸島の太平洋に面した岩礁では、ガラモ場やワカメ場、あるいは「不明」とされる藻場の分布が多く示されているが、本調査解析結果の分布域は極狭い分布に限られている。

b) アマモ場

本調査解析結果では、松島湾奥部の数カ所、松川浦でアマモ場が認められた。

第 5 回基礎調査によると、万石浦の一部、松島湾内の広い範囲、鳥の海にアマモ場が分布したとされている。震災後の調査では万石浦、松島湾でアマモ類の生育が報告されているが、被災によりアマモ場は大きな打撃をうけているとされている。特に、松島湾では、湾内の半分近くに分布していたとされるアマモ場がほとんど消失し、2012 年 5 月時点で浦戸諸島の島影に数 10m から 350m 程度の小さな群落が残るのみであったxii。また、本調査におけるヒアリング結果によると松川浦では、震災直後は壊滅状態であったとされるが、北部では回復傾向にあるとの結果が得られている。

本調査解析により得られたアマモ場は、規模の小さなものがわずかに認められただけであり、また、上述した震災後調査結果との整合も十分でなかった。これは、2012 年時点ではアマモ場の回復が十分でなく、空中写真に写るだけの規模や密度の群落を形成していなかったこと、松島湾など水の濁りによりアマモ場の視認が困難だったことに起因する可能性がある。



藻場タイプ

アオサ・アオノリ場　アマモ場　アラメ場　ガラモ場　コンブ場　テングサ場　ワカメ場　不明

図 6.18　沿岸ごとの藻場分布概況（仙台湾沿岸）

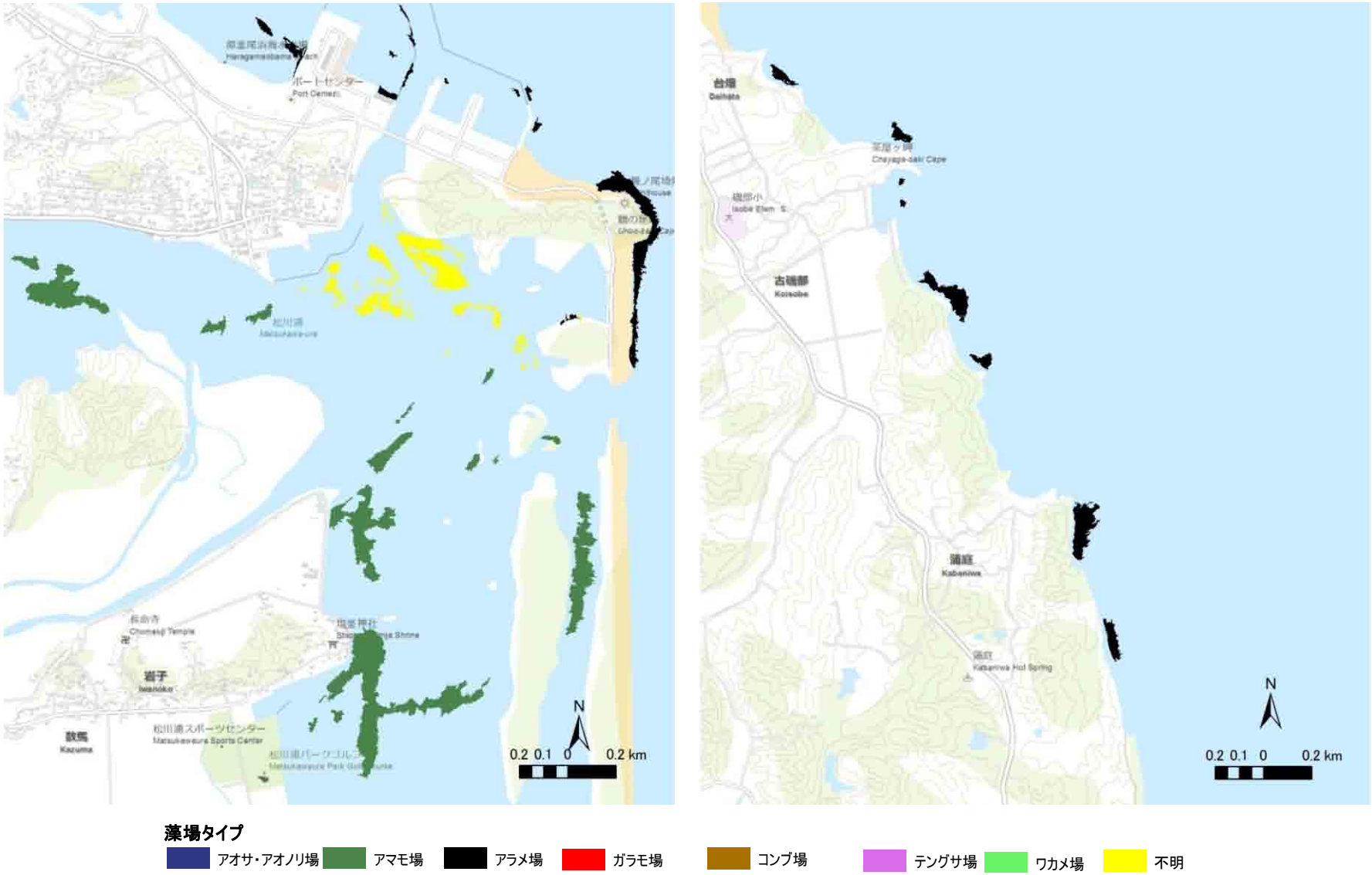


図 6.19　沿岸ごとの藻場分布概況（福島北沿岸）

b.　自治体（県、市町村）別、海岸区分別の藻場・アマモ場の分布

岩礁性藻場・アマモ場について、各自治体別での今回の面積集計結果を図 6.21 に、第５回基礎調査での面積集計結果を図 6.21 に、海岸区分別での面積集計結果を図 6.22 に示す。面積集計結果と資料編：震災後の藻場分布図を見比べて場合、今回調査では気仙沼湾、大島、唐桑半島周辺で多くの藻場（タイプ不明）が確認された気仙沼市、牡鹿半島や追波湾周辺でコンブ場、ワカメ場、ガラモ場などが確認されている石巻市、志津川湾にアラメ場等の岩礁性藻場が広く分布している南三陸町などの藻場・アマモ場の面積が多い。また、宮古湾、大船渡湾、久慈湾、釜石湾などのワカメ場、コンブ場を主体とする宮古市、大船渡市、久慈市、釜石市も岩礁性藻場の面積が多くなっている。

一方、アマモ場については、山田湾を有する山田町、志津川湾を有する南三陸町、松川浦を有する相馬市など、ごく限られた市町村でまとまった面積が確認されている。

今回調査は画像解析を用いてより大縮尺な図化が行われているため、第５回基礎調査との単純比較は困難である。しかし、相対的な面積比較をした場合、岩礁性藻場は第５回基礎調査、今回調査ともに三陸沿岸（岩手県）で安定的に確認されており、各市町村間で分布状況も整合している。一方、第５回基礎調査で確認されていた陸前高田市の広田湾や松島町の松島湾のアマモ場が今回調査では局所的な確認にとどまっているが、これは a. 各地域における藻場・アマモ場の抽出とタイプ区分推定の状況で述べたように、震災影響に併せ空中写真の濁り等も関与していると推察された。

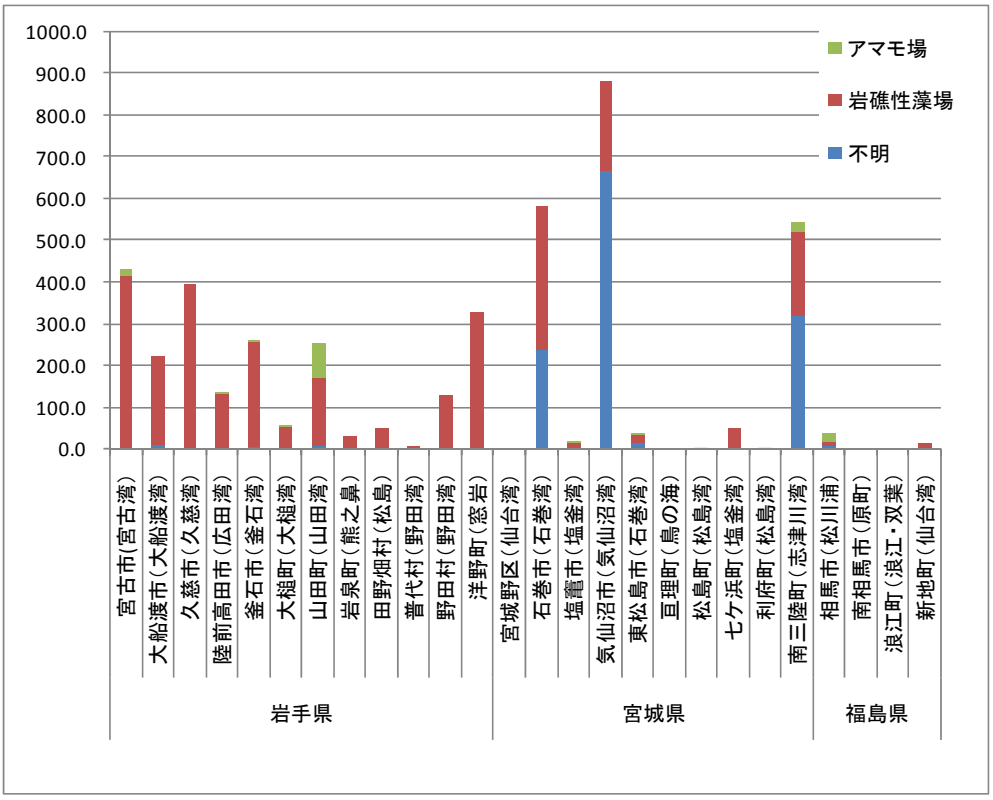


図 6.20　市町村（主要湾・浦）別藻場・アマモ場面積

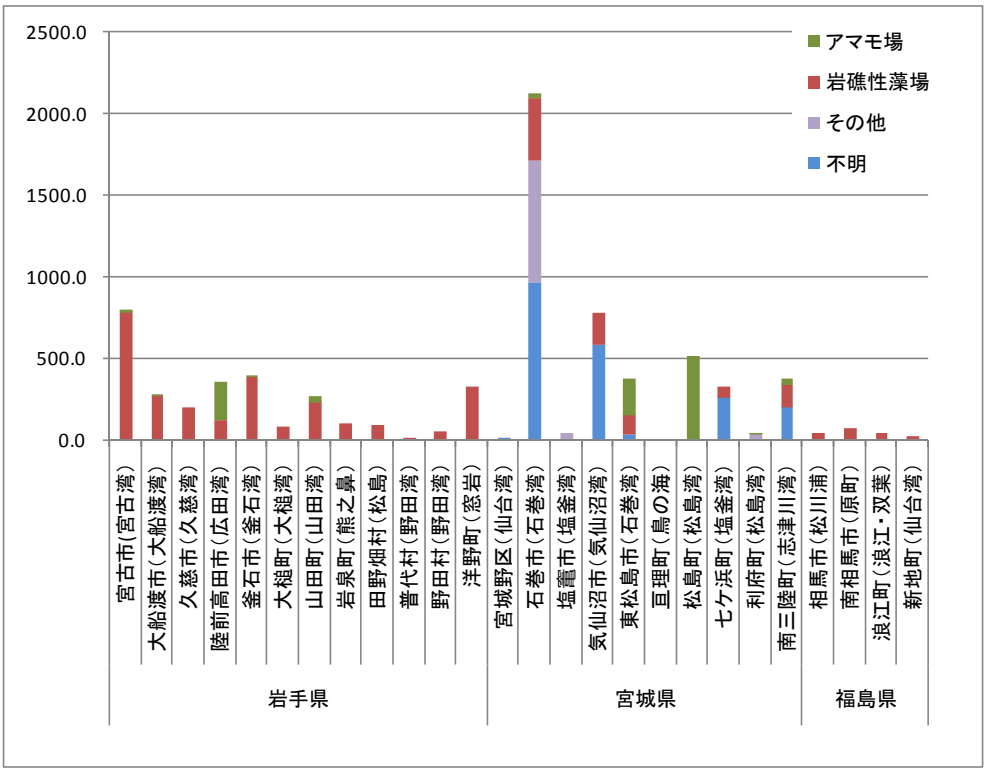


図 6.21　【参考】第５回基礎調査　市町村（主要湾・浦）別藻場・アマモ場面積

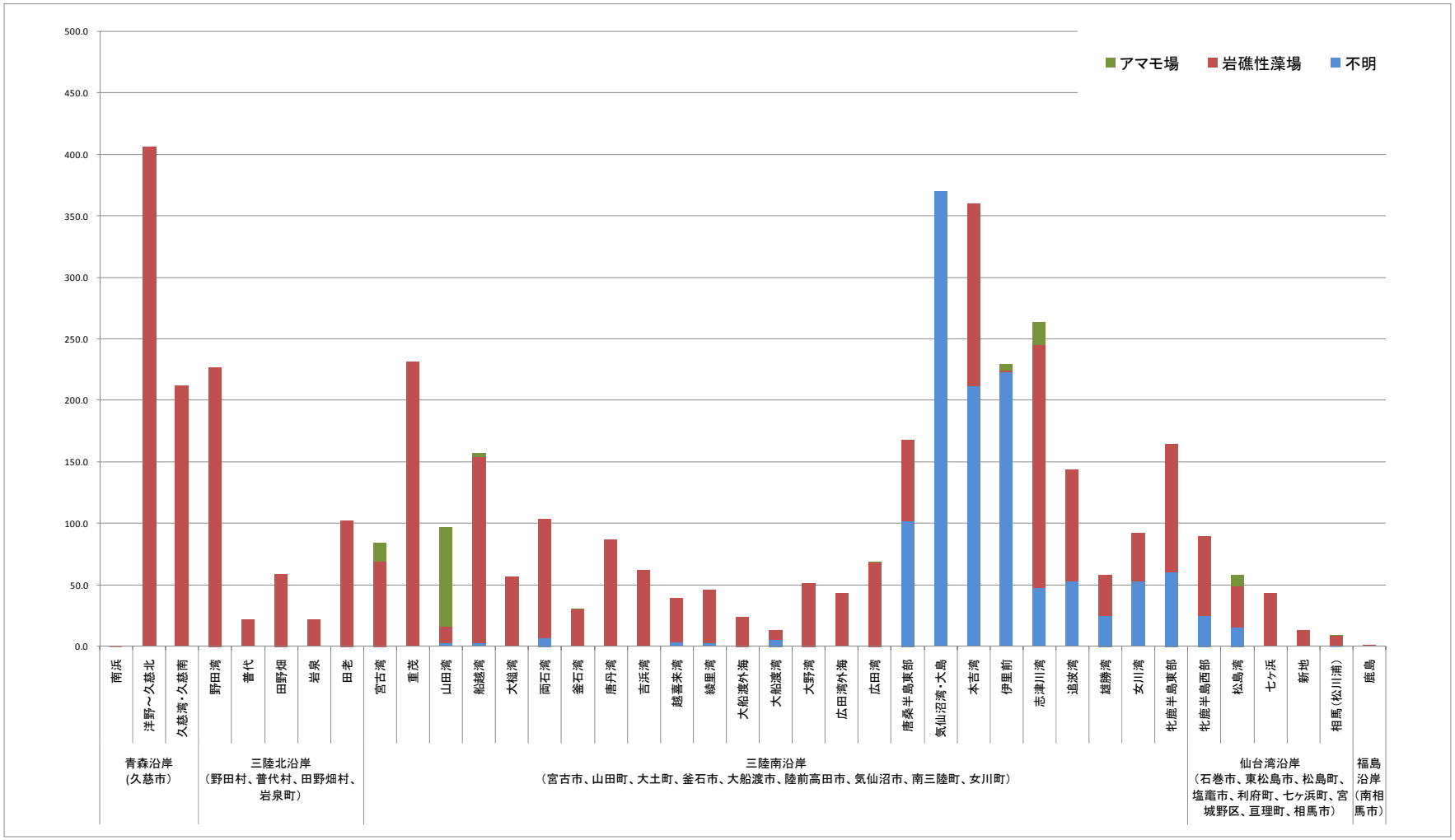


図 6.22　海岸区分別藻場・アマモ場面積

c.　藻場・アマモ場の残存数による第５回基礎調査結果との比較

今回、第５回基礎調査と比較して大縮尺での図化がなされていることから、第５回調査との単純な面積比較は困難である。一方、第５回基礎調査で藻場・アマモ場として抽出されている個々の植分内に今回も継続して藻場・アマモ場が残存しているかの把握は、藻場・アマモ場への震災影響を推察する上で有効と思われる。今回調査で残存している藻場数を図 6.23 に、アマモ場数を図 6.24 に示す。

岩礁性藻場については、どの市町村も概ね 8 割～9 割程度残存しているのに対し、アマモ場については、第５回基礎調査結果で個数が少ない市町村ではでは残存率が高いものの、第５回基礎調査結果で個数が多い市町村では残存率が 2 割～5 割程度と低くなっていた。

アマモについては海底の砂泥ごと持ち去られる可能性が考えられ、ヒアリングも加味すると、松島町の松島湾など震災の影響が表れている地点もある。しかしながら、前述したように写真の撮影時期や水の濁り等により抽出できなかった地域がある可能性もあると思われる。

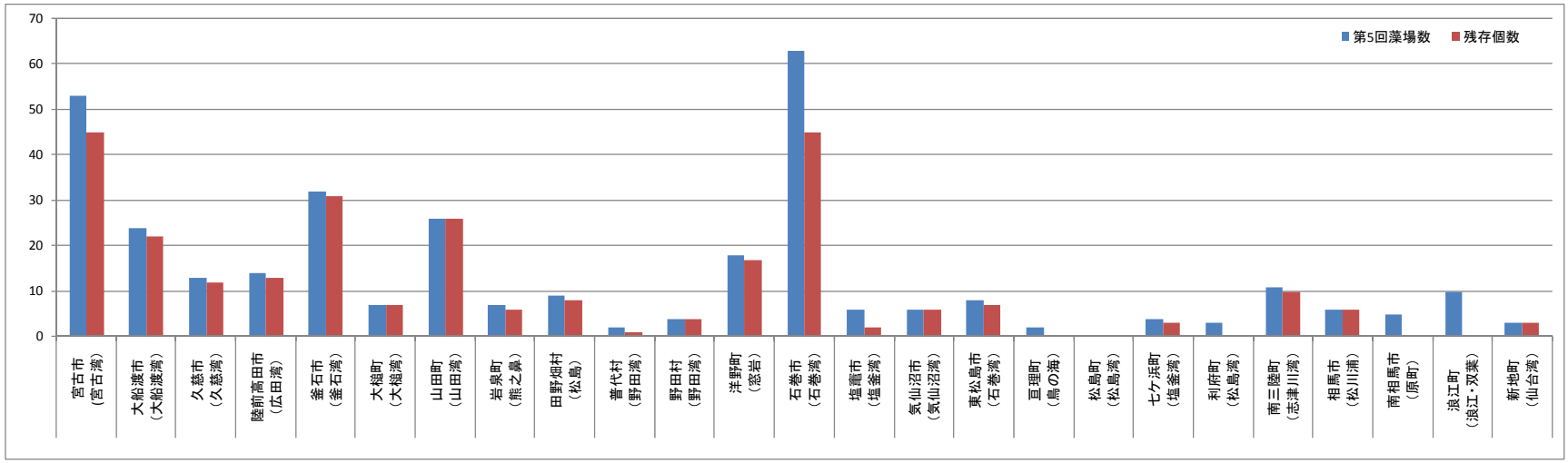


図 6.23　第 5 回基礎調査からの藻場残存数

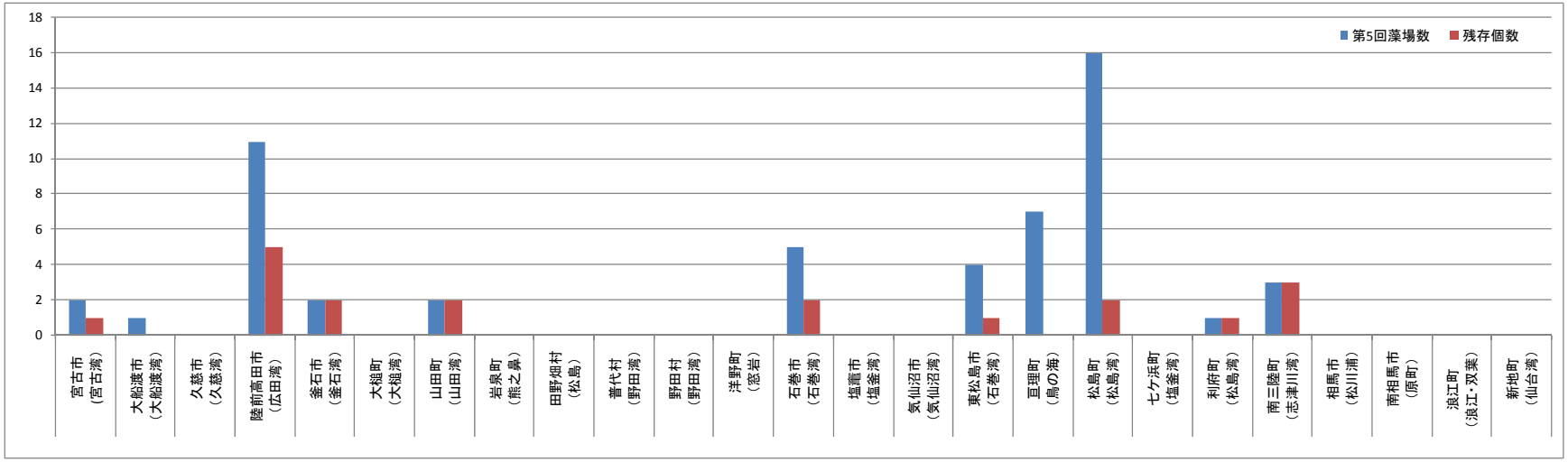


図 6.24　第 5 回基礎調査からのアマモ場残存数

d. 本調査における岩礁性藻場・アマモ場分布解析結果のまとめ

以上、本調査における岩礁性藻場・アマモ場分布の解析結果を概観した。

岩礁性藻場については、各地域で調査を行っている研究者などへのヒアリング結果によると、分布範囲は概ね妥当なものと評価されている。一方、藻場タイプ（優占種）については、「a. 各地域における藻場・アマモ場の抽出とタイプ区分の推定状況」に記述したように、タイプ区分が十分にできておらず、岩礁性藻場のほとんどがコンブ類やワカメとされる三陸北沿岸ではある程度の確からしさがあるが、三陸南沿岸では画像解析や判読では十分に判別できない「不明」の藻場が多くなっており、藻場のタイプ区分が十分にできているとは言い難い。

また、アマモ場については、震災後に行われた各種現地調査により報告されているアマモ類の分布域を本調査解析結果では十分に抽出できていない。この要因としては、アマモ場が内湾奥部に分布するため、宮古湾の事例のように濁りにより分布を抽出できなかったり、震災によりアマモ場が流失した後に回復傾向にあるアマモ場もあるが、2012 年時点では規模あるいは密度が十分に回復していない、もしくは写真撮影時期がアマモ類の繁茂期にあたっていないため、アマモ場として抽出できていない可能性がある。

(2) 衛星画像に基づく調査結果

a. 画像の前処理と領域分割の状況

今回、画像反射率の水深補正について、図 6.25 に示すように従来の指数近似より対数近似の方が水深による減衰をより高精度で推定できたため、対数近似による水深補正を実施した。

山田湾の画像（2012 年 8 月 24 日）について、衛星画像の前処理画像、および領域分割画像を図 6.26 に示す。

オルソ補正により正しい位置での藻場抽出がなされ、大気補正、水深補正が施されることで浅場の藻場・アマモ場がより適切に領域区分されやすくなっており、かつ深場が藻場・アマモ場として誤分類されないように浅場の砂地と同様になるよう、色調補正されている。

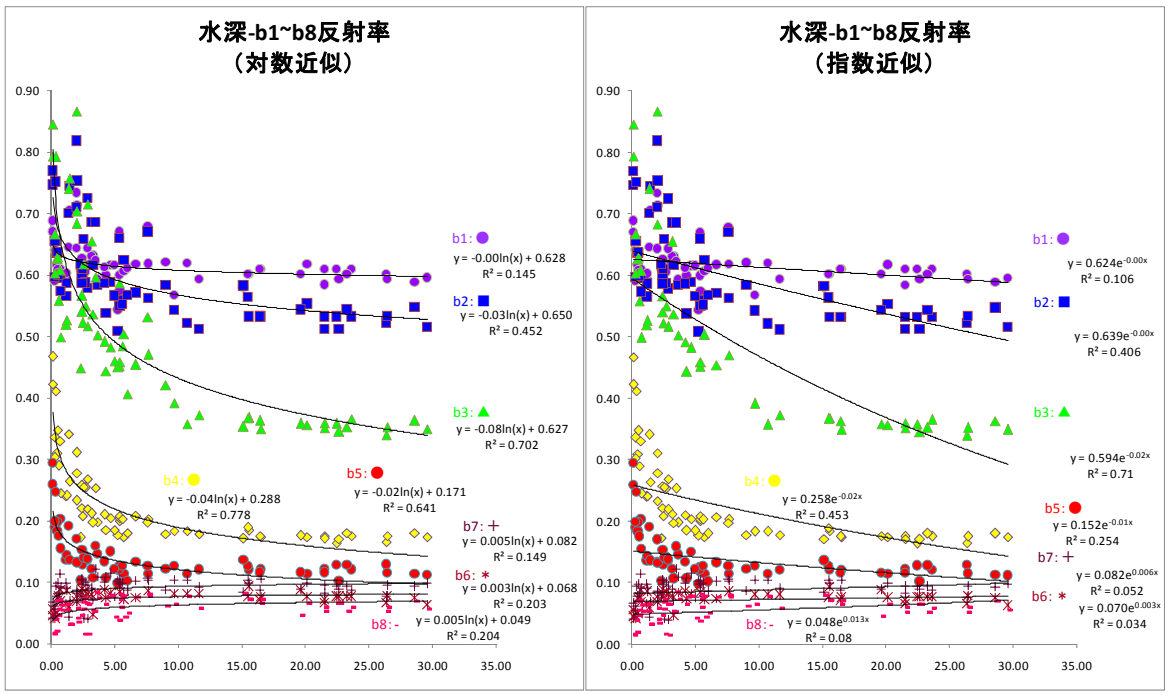
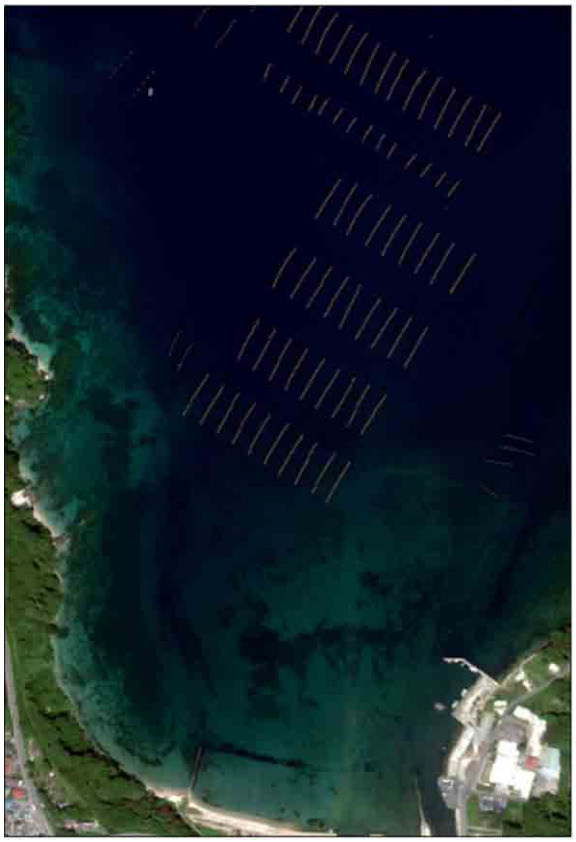
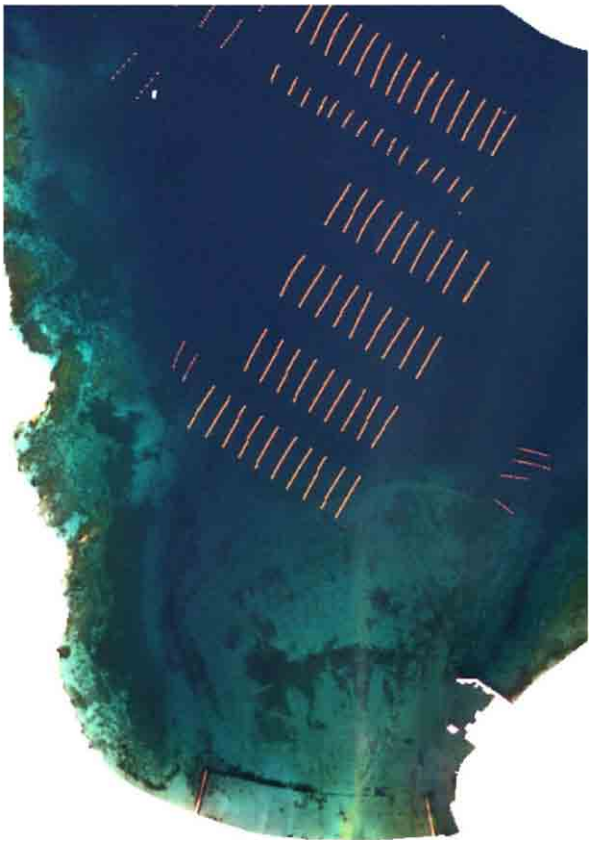


図 6.25　水深による各バンドの減衰曲線（左：対数近似、右：指数近似）

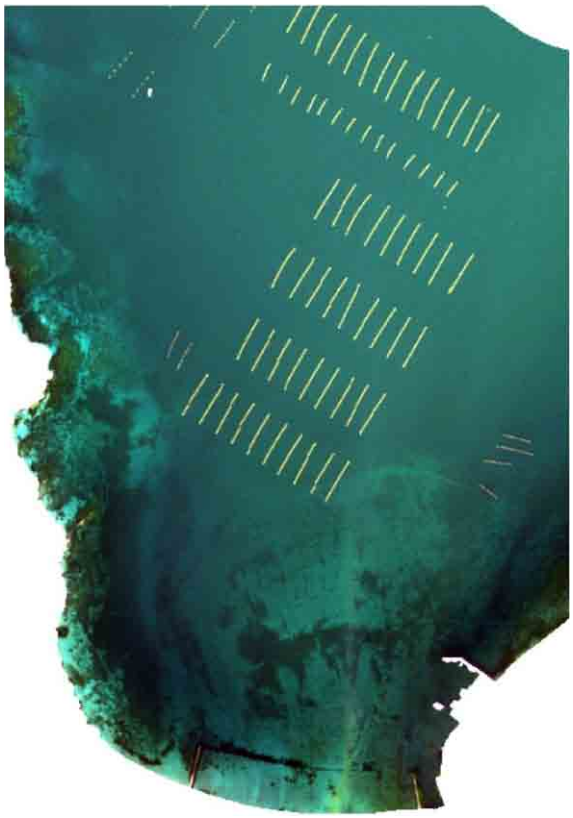
オルソ補正画像



大気補正画像



水深補正画像



領域分割画像

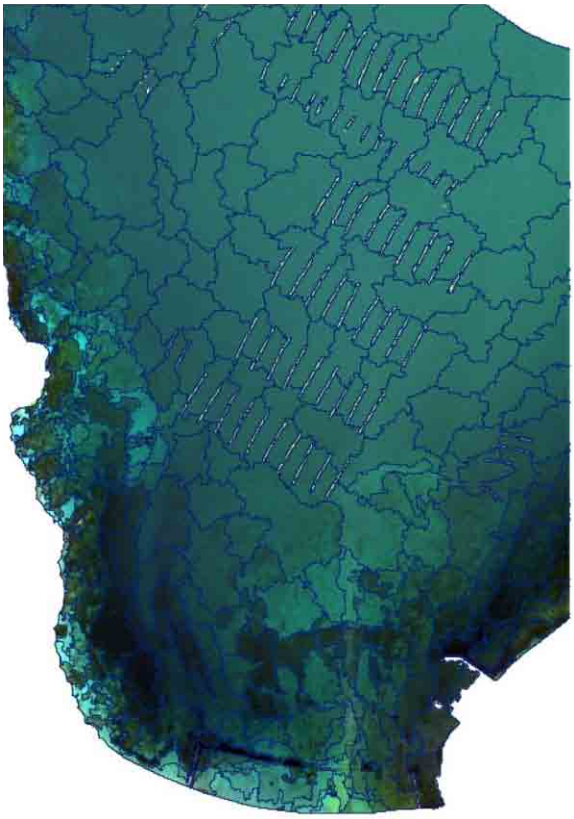


図 6.26　衛星画像の前処理と領域分割

b.　画像の前処理と領域分割の状況

生態系監視調査結果と空中写真判読結果から、藻場タイプ、砂浜、深場について、分類モデル構築用に確度の高い領域を参照領域として選定した。参照領域の設定状況と空中写真による分布図を図 6.28～図 6.29 に示す。さらに設定した参照領域の領域特徴量から、箱ひげ図を作成し、分類に有効と思われる特徴量を整理した。整理した箱ひげ図を図 6.27 に示す。

箱ひげ図の結果から、バンドではバンド１（紫）、バンド３（緑）、バンド６（レッドエッジ）が、特徴量では砂地の抽出にバンド１の平均と輝度値割合、バンド６のモードが、アマモ場の抽出にバンド６の平均と 50%分位点が、コンブ場と深場の抽出に最大差（全バンド）が、ワカメ場の抽出にバンド１の平均とバンド６のモードが有効であることが推定された。

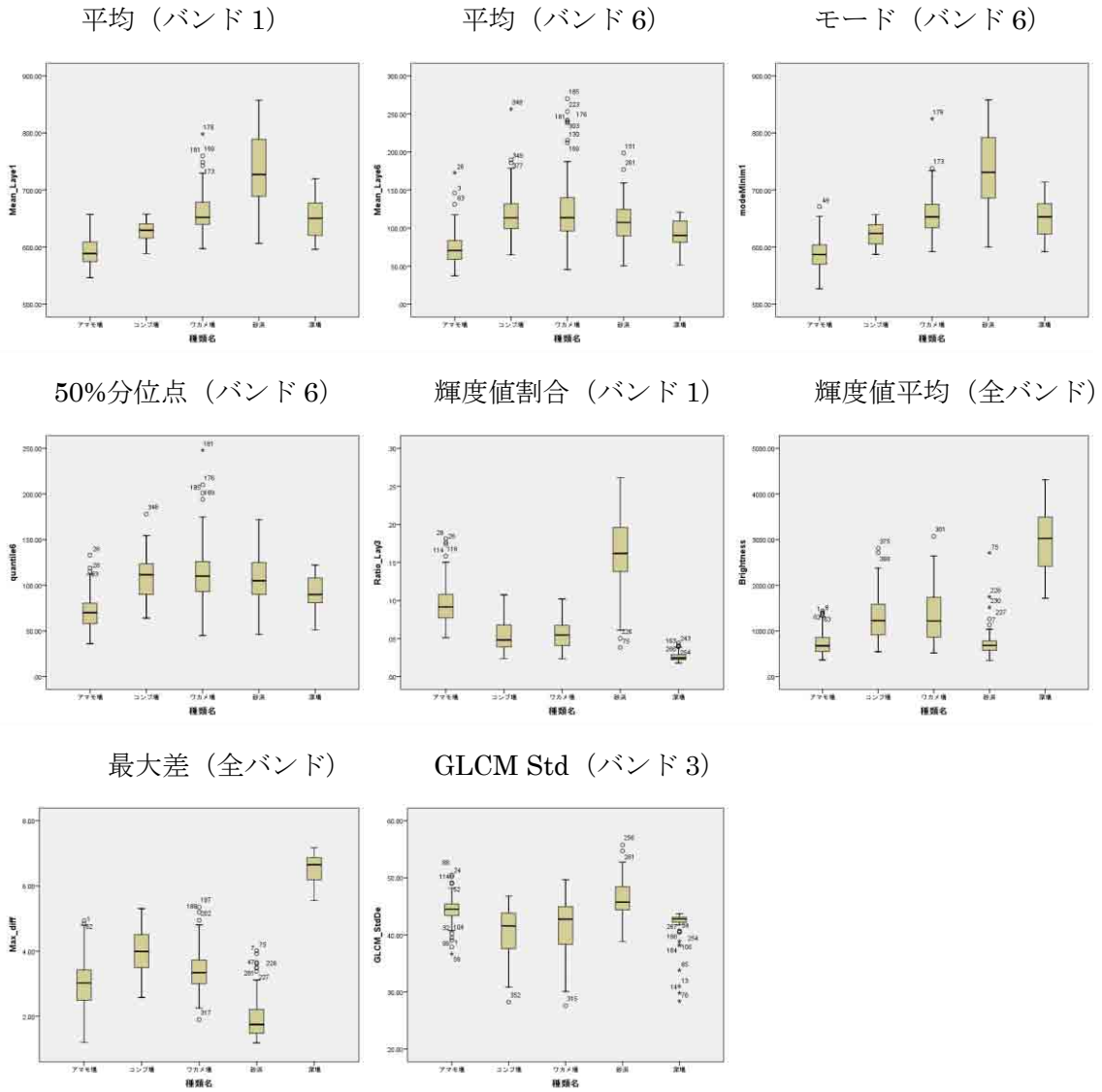


図 6.27　分類に有効と思われる特徴量

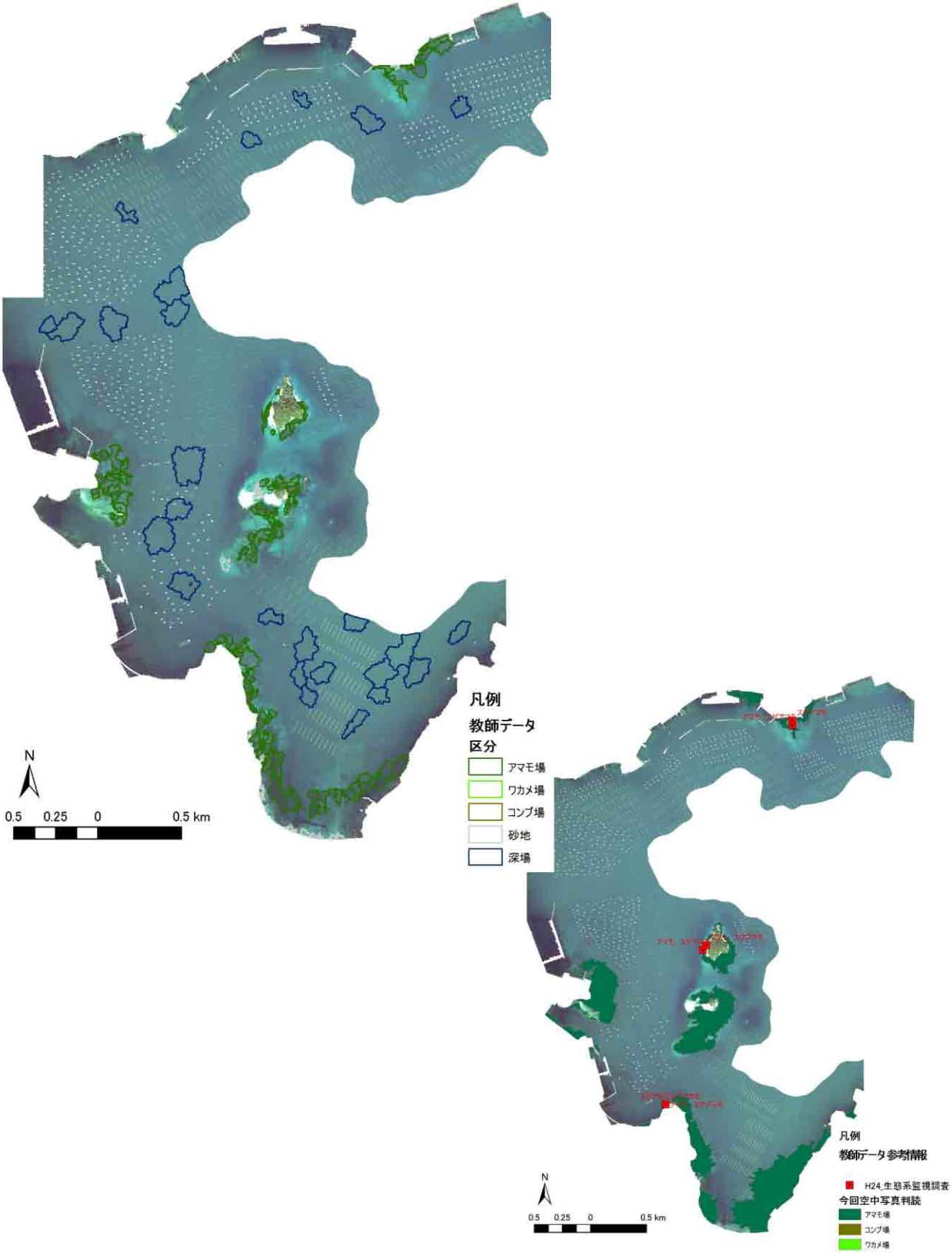


図 6.28　教師データの設定状況（左上）と参考情報（右下）（山田湾）

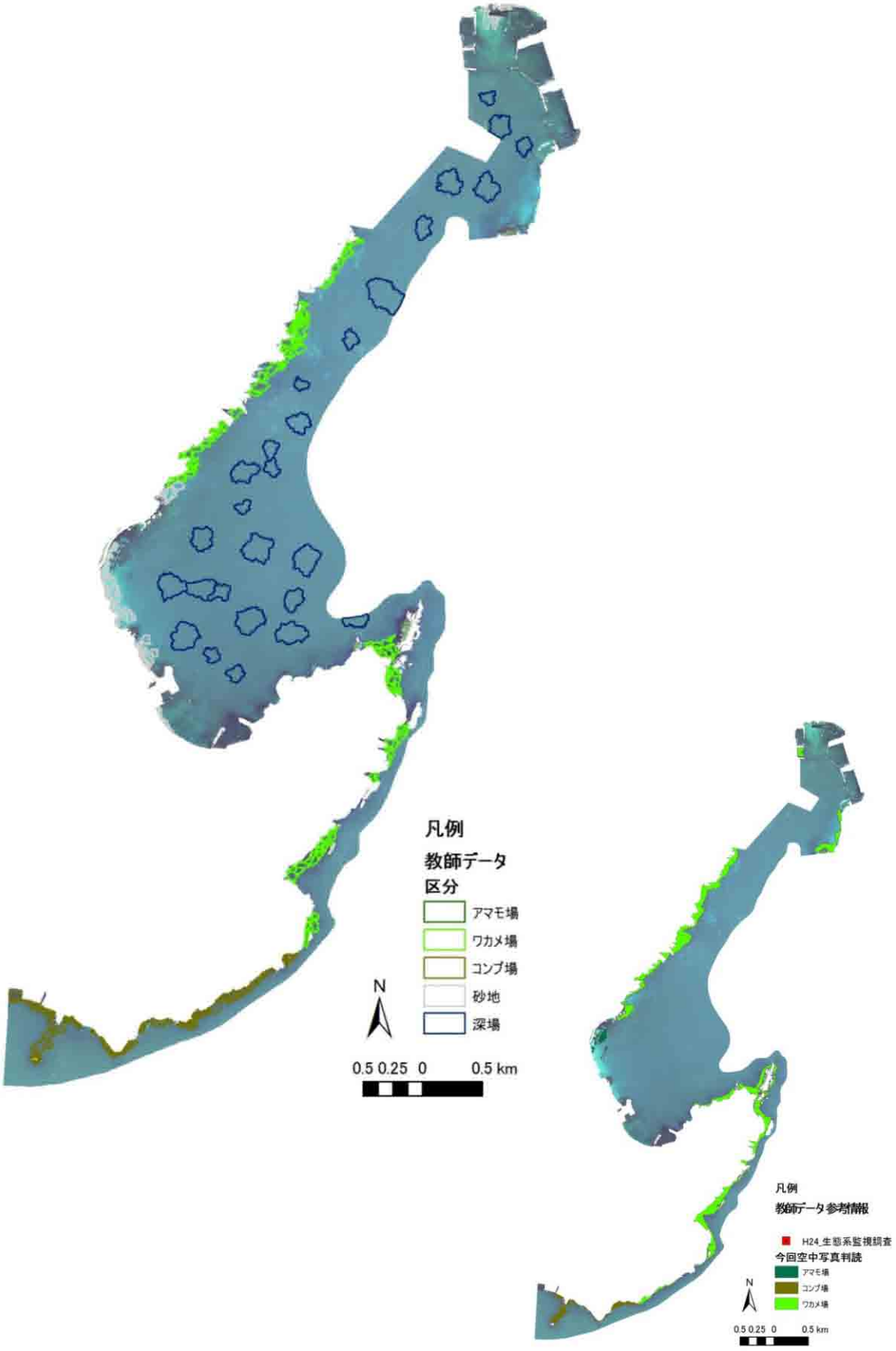


図 6.29　教師データの設定状況（左上）と参考情報（右下）（船越湾）

c. 機械学習による分類結果

1) 広域的なマッピングの分類結果と妥当性評価

バンド 1～6 による平均値を使用した SVM による分類結果を表 6.7,図 6.30 に、K-NN による分類結果を 表 6.8、図 6.31 に示す。分類精度表での全体精度はいずれも 9 割を超えており、空中写真による分布図ともよく整合している。よって、平均値のみでも、質の高い現地データがあれば、局所的な情報から面的展開が可能であり、また空中写真判読結果と概ね整合のとれた藻場・アマモ場のマッピングが可能であることが示唆された。

表 6.7 SVM 法による分類精度表(ha)

分類結果 群落区分名	サンプル群落番号 1	2	3	4	5	計	ユーザ精度 注)1
1 アマモ場	2632.8	0.0	88.0	9.9	92.0	2823	0.933
2 ワカメ場	0.0	2278.4	11.0	0.0	504.5	2794	0.816
3 コンブ場	0.0	137.0	1150.9	0.0	0.0	1288	0.894
4 砂地	0.0	0.0	0.0	1090.1	0.0	1090	1.000
5 深場	0.0	169.4	0.0	0.0	10023.2	10193	0.983
計	2632.76	2584.77	1249.85	1100.06	10619.7	18187	
プロデューサ精度注)2	1.000	0.881	0.921	0.991	0.944		
全体精度							0.944
κ係数注)3							0.910

表 6.8 K-NN 法による分類精度表(ha)

分類結果 群落区分名	教師データ群落番号 1	2	3	4	5	計	ユーザ精度 注)1
1 アマモ場	2401.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2401	1.000
2 ワカメ場	0.0	2534.7	37.5	0.0	0.0	2572	0.985
3 コンブ場	0.0	0.0	1032.9	0.0	0.0	1033	1.000
4 砂地	54.8	0.0	0.0	947.1	0.0	1002	0.945
5 深場	0.0	0.0	0.0	0.0	10619.7	10620	1.000
計	2455.88	2534.73	1070.36	947.07	10619.7	17628	
プロデューサ精度注)2	0.978	1.000	0.965	1.000	1.000		
全体精度							0.995
κ係数注)3							0.991

注 1) 画像分類結果の精度評価指標の一つ。エラーマトリックスにおいて、検証データに対して、分類画像上で同じカテゴリに分類されている画素数の割合。

注 2) ユーザ精度。画像分類結果の精度評価指標の一つ。エラーマトリックスにおいて、分類結果に対して、検証データで同じカテゴリに区分されている画素数の割合。

注 3) 一致が偶然生じる確率を考慮し、それを除外して、さらに厳しく判断結果の信頼性を評価した統計量。一般的には、このカッパ係数が 0.75 以上になる場合に、その(符号化・評定後の)データは十分に信頼のおけるものと判定される。

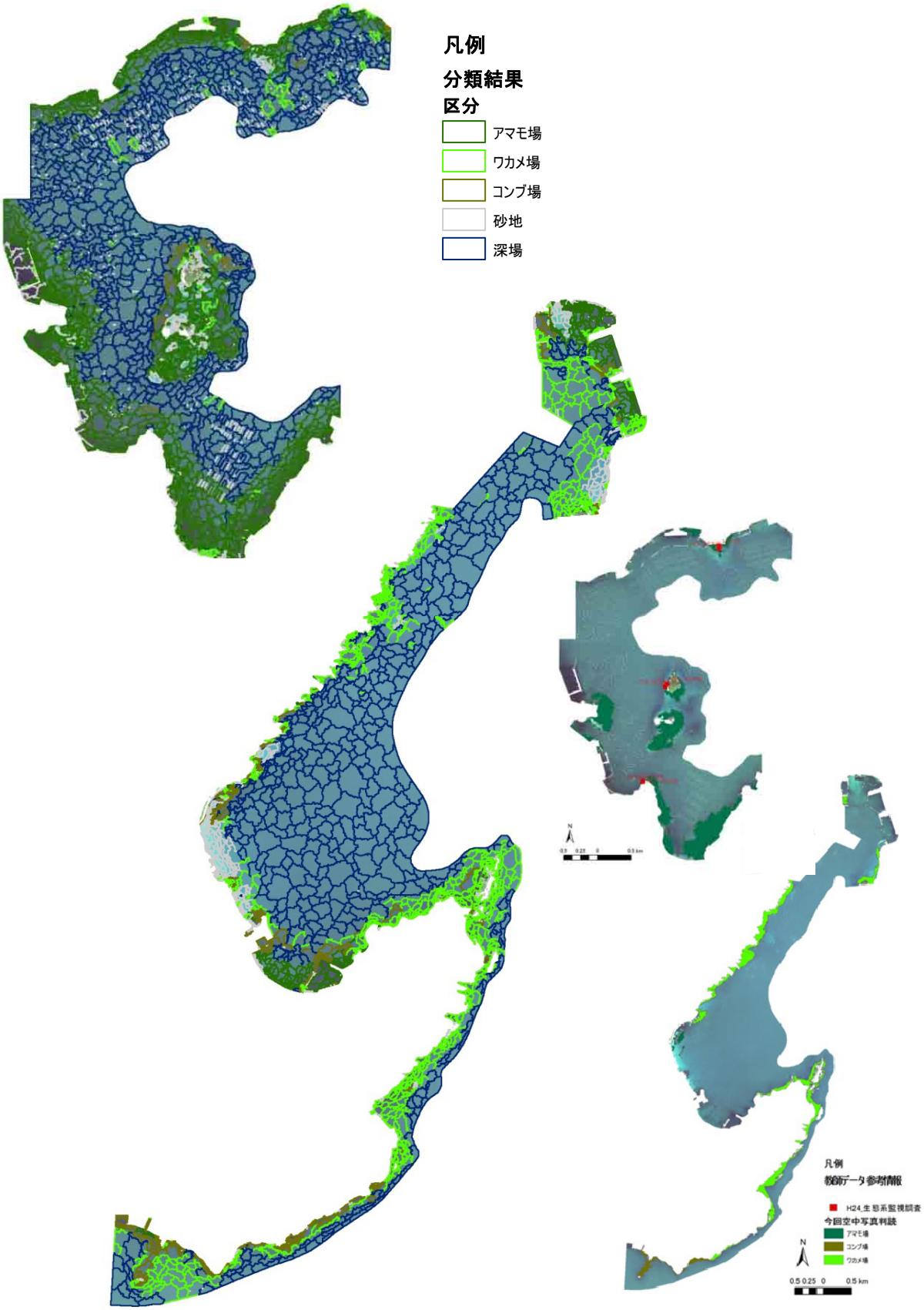


図 6.30　SVM 法による分類結果（左）と空中写真分布図（右）

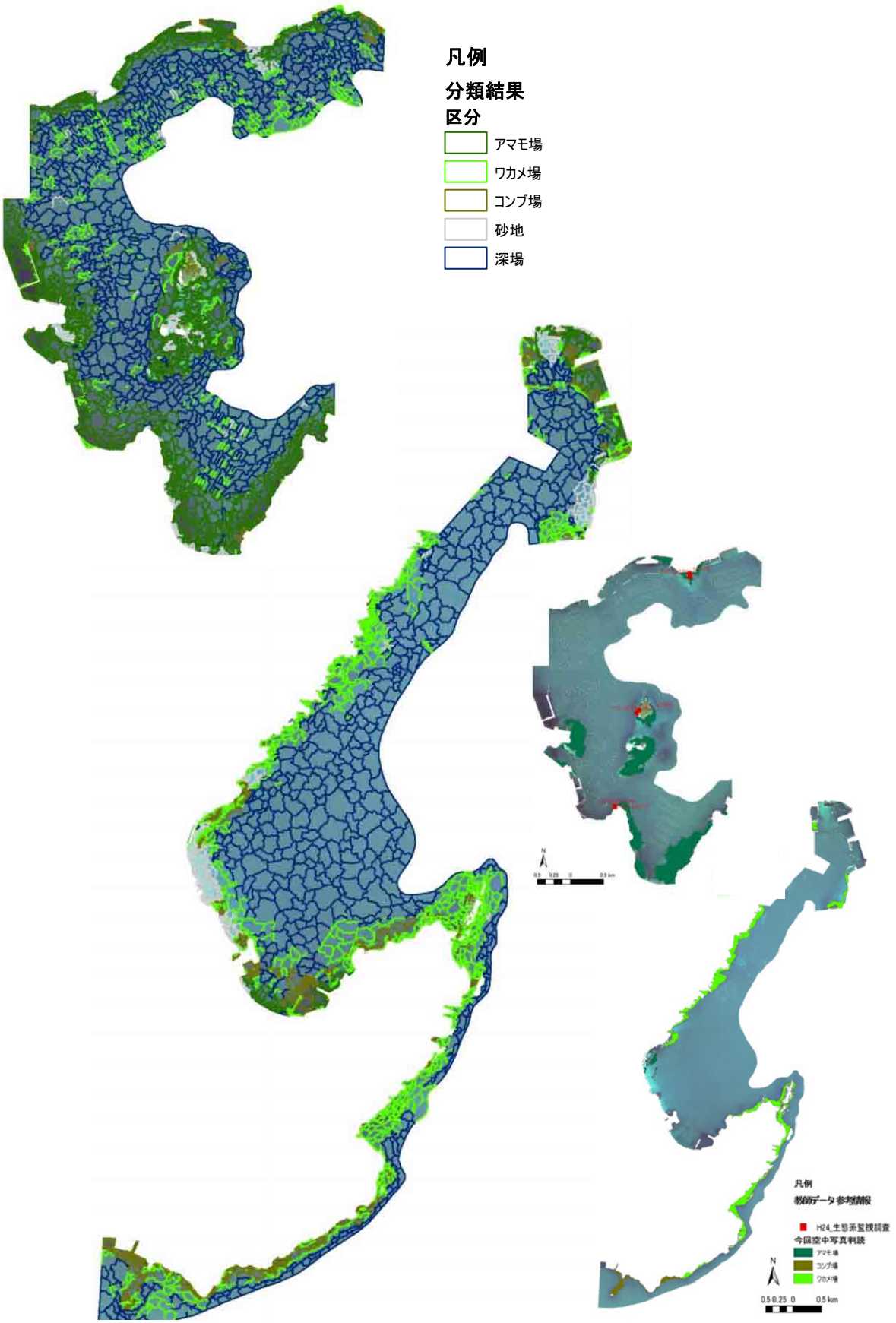


図 6.31　K-NN 法による分類結果（左）と空中写真分布図（右）

2) 局所的な藻場・アマモ場モニタリングとしての活用可能性

山田湾の 2012 年 8 月、および 2014 年 9 月の画像から、K-NN 法により藻場・アマモ場を抽出した結果を図 6.32 に示す。青丸で示すように、藻場・アマモ場の拡大（回復）状況が把握できている一方、赤丸の部分について、被度が高いところと低いところも等しく藻場・アマモ場として認識されていることから、画像解析による局所的な藻場・アマモ場モニタリングに際しては、今回のような藻場・アマモ場であるかの判定のみならず、藻やアマモの被度の推定が今後の課題として挙げられる。

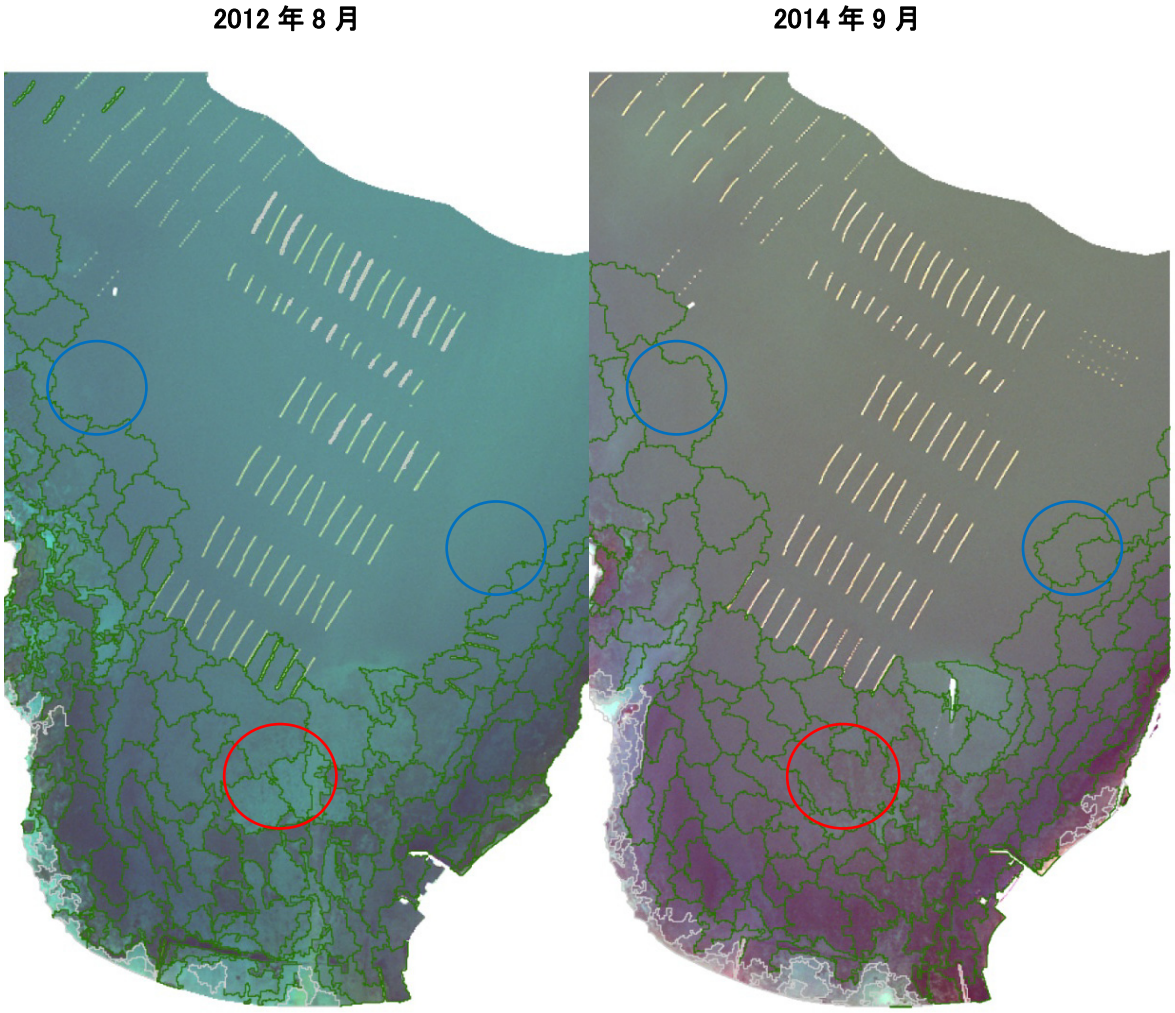


図 6.32 K-NN による藻場・アマモ場の抽出結果

6.4　考察

(1)　第５回自然環境保全基礎調査による藻場／アマモ場分布との比較

今回調査において、藻場・アマモ場の分布に関し、第５回基礎調査と比較して、大縮尺での詳細な分布情報が得られた。岩礁性藻場については、ヒアリング結果との照らし合わせにより、震災後の分布状況について概ね妥当な情報が得られたと判断された。また、図化縮尺が異なるため、第５回基礎調査との厳密な比較は困難であるが、第５回基礎調査結果と今回調査結果の群落面積の相対的な面積比較やヒアリング状況から、岩礁性藻場については対象全域において震災前後で大きく変化はしていないと考えられた。

一方、アマモ場については、空中写真の透明度の高い山田湾などでその詳細な分布情報が得られたが、撮影時期が冬であるため、その分布範囲が必ずしも妥当でない可能性がある。また、空中写真の水の濁りが強い松島湾等では、既往の報告にあるように実際にアマモ場が消失しているのか、それとも視認できていないのかの判断が難しい。

その他、コンブ場とワカメ場の深さによる棲み分けや季の入れ替わりなど、陸上植生と同様ハビタットの違いや季節で優占種が異なる場合もあり、単純に〇〇場といった区分が必ずしも妥当でないという識者の指摘もある。

従って、定量的な藻場・アマモ場のモニタリングにあたっては、図化の縮尺や画像解析手法等を統一するとともに、藻場・アマモ場のフェノロジー（植物季節消長）や水の濁る時期を考慮した画像の撮影時期・撮影条件の設定とそれに沿った画像の取得が非常に重要になる。

(2)　空中写真と衛星画像による藻場・アマモ場の抽出結果の比較

空中写真については、先に述べた画像の撮影時期、撮影条件が異なるため、藻場・アマモ場の視認性の向上と植分の領域抽出の自動化を画像処理により行い、群落同定は目視で行うといった形が妥当であった。一方、衛星画像は１シーンの広さやバンド数の多さから、観測条件がよい高分解能衛星画像と質・量が担保された現地データがあれば、画像解析により植分の境界の抽出のみならず、群落同定も定量的基準に基づいて行える可能性が示唆された。

よって、藻場・アマモ場の分布の経年変化を把握するには、過去のシーンについては今回使用した World View2 以外の高分解能衛星も視野に入れて、アーカイブを広く探して最適な画像を取得する。さらに、現在のシーンについては事前に十分なヒアリングやアーカイブ画像による予備解析を行ったうえで新規観測により最適な高分解能衛星画像を取得し、各関係機関所有のデータも含め十分な量・質の現地データを収集することで、高精度かつ省力的な藻場・アマモ場のモニタリングが可能になると推察された。

6.5　今後の課題

今年度、国土地理院の最新の空中写真を用いて解析した結果、有識者ヒアリングでは「ある程度の確からしさ」で震災後の藻場・アマモ場の分布が整理できた。今後はこの分布データを公表することで東北沿岸の藻場・アマモ場を知る関係者からさらに多くの分布や内容に関する情報のフィードバックをいただくことを期待したい。特にアマモ場については、使用した画像は必ずしも最繁茂期ではないことから、報告後のフィードバック意見が重要である。

今回の作図手法は、空中写真をもとに、オルソ化、オブジェクト分類、水深マスク（過去調査とあわせる）、画像強調という解析プロセスとこれまでの経験知による画像判読を組み合わせた手法であるが、現在のところ広域的には「現地の状況」に最も近い情報を取得できる方法であると考えた。今後、手法についてもブラッシュアップが必要であるが、海況の悪い東北地方での試行であった点も考慮して評価を待ちたい。

衛星（World View 2）についても画像解析を試行し、数値上の検証を行い、相応の作図が可能であることがわかった。ただし、藻場・アマモ場分布情報の「真値」の多くを写真判読結果に依存していることに留意が必要である。今回ヒアリングで多くの識者から指摘があったように、藻場・アマモ場の状況は年ごとに大きく変化することがあり、解析の参考にする教師データは十分慎重に選定する必要がある。この上で、過去の良好な状況の画像、適切な教師データの存在という条件がそろえば、衛星情報を的確に解析することで過去の藻場・アマモ場の分布を再現するという展望もでてくると考えられる。

なお、ヒアリングでも第 5 回基礎調査海辺調査の分布データは、作成時期、ポリゴンの広がりについて課題があげられており、震災影響評価の観点からも更新が望ましい。

6.6　参考文献

[i] 岩手県水産技術センター（2013）：(1)津波によるアワビ、ウニ等磯根資源への影響に関する研究．平成 25 年度岩手県水産技術センター年報、p.43-52

[ii] 岡田他（2013）：宮古湾における停電およびアマモのモニタリング結果．国土技術政策総合研究所資料 No.752

[iii] 独法）水産総合研究センター：岩手県宮古湾と宮城県内湾におけるアマモ場と仔稚魚の実態，およびその回復状況の把握．HP

[iv]押野他（2011）：宮城県北部岩礁域における藻場とキタムラサキウニの分布態様．宮城水産研報、第 11 号、p.44-64　など

[v] 本調査ヒアリング結果（2015 年 3 月 16 日、北海道大学仲岡雅浩教授）

[vi] 小松他（2011）：船越湾および大槌湾の海藻藻場に及ぼした津波の影響に関する研究

[vii] 環境省（㈱プレック研究所）：平成 24 年度 東日本大震災による東北地方太平洋沿岸地域自然環境情報点検等業務報告書.

[viii] 加戸隆介（2012）：越喜来湾崎浜岸壁および大船渡湾上平岸壁における震災前後の生物相の変化．北里大学海洋生命科学部・岩手県水産技術センター合同セミナー「岩手県南部海域における海洋環境の現状調査」に関する成果報告会資料

[ix] 岩手県水産技術センター（2013）：(2)広田湾におけるアマモ場の回復状況の把握．平成 24

年度岩手県水産技術センター年報、p.112-113

[x] 東京大学大気海洋研究所・（公財）環日本海環境協力センター（2014）:「志津川湾藻場復元支援マップ」

[xi] 玉置・村岡（2013）: 東日本大震災による藻場・干潟生態系の撹乱とその後の回復過程．環境技術、Vol.42(9)、p.558-563

[xii] 国土交通省・松島湾アマモ場再生会議（2012）: 松島湾の環境の現状と再生に向けた課題．第 2 回松島湾の海域環境復興を考える検討会資料-3