

福島県松川浦におけるアマモ場分布の経年変化

— UAVによる高解像画像と空中写真判読をもとに —

前原 翔吾

本学地理・環境専攻 2017年3月卒業

I. はじめに

東北地方太平洋沿岸地域に位置する仙台湾沿岸には、縄文海進の名残で多くの潟湖が存在する。このような潟湖のひとつであり、水質に恵まれた松川浦は、砂泥質の浅海域でアマモ場が形成されている。

アマモ (*Zostera marina*) は日本、北米、ヨーロッパなど北半球に分布する沈水性の多年草である。特に内湾水域に広く分布し、水深2~6mの干潮線下に多く、いわゆる「藻場」を構成する主要な海草である(大滝ほか 2007)。アマモが密生している場所を「アマモ場」と呼び、多様な動植物の生息場所となっている。また、栄養塩の吸収や底質の安定化、炭素の隔離貯留(ブルーカーボンシンク)など、アマモ場は生態系にとって様々な役割を果たしている(仲間ほか 2017)。

本研究の調査地である松川浦においても、アマモ場が形成されており、シロメバル、タケギンポ、スジハゼなど多くの魚類が生息していることが、和田ほか(2013)の調査で明らかになった。ところが、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震と、それに伴う津波により、東北地方太平洋沿岸域は大きな被害を受けた。松川浦でも堤防の決壊による大規模な潟湖底の攪乱が起こり、アマモ場が底土ごと海へ流出した(環境省 2012; 国立公園協会 2012)。また、津波によってアマモ場の基盤となる砂泥質の底質が、生育の難しい砂質に変化する場所も、東部を中心に見られた(鈴木 2013)。

震災直後には多くの研究者によって被害の実態が調査され、松川浦周辺の津波被害状況や、潟湖内の底質やベントスについての調査が多数実施された。

例えば新井(2013)では、潜水調査を実施し、震災直後のアマモ場をはじめとする藻場の被害状況の観測を行った。また、和田(2012)では、過去にアマモの繁茂が確認されている定点において、アマモ場の有無を確認するとともに、残存したアマモ密度の評価を行った。さらに日高ほか(2012)では、アマモの生育基盤である底質の分析を行い、震災前後の比較を図示した。

震災以前から行われている代表的なアマモ場調査の一つとして、環境省自然環境局生物多様性センターが行っている「モニタリングサイト1000磯・干潟・アマモ場・藻場調査」がある。これは潜水調査や船上からの目視判読を中心に、5年毎に詳細な記録を行っている。また同報告書では空中写真判読と衛星リモートセンシングによって、東北地方太平洋沿岸のアマモ場分布調査を行っており、その過程で今回の判読の参考にした上空からのアマモ場判定基準を作成している。しかしながら、衛星データや空中写真は任意のタイミングのものを入手するのが難しく、小さな対象を判読するにはあまり向いていないといった欠点がある。

そこで本研究では、低高度から撮影が可能な UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用いて取得データをもとに、まず現在のアマモ場分布調査を行うこととした。そして津波による底質の変化や、地震による地盤の沈降が分布にどのよう

な影響を与えているかの考察を行った。しかしながら、1回の撮影では経年変化を知ることは出来ないため、経年変化の検証には国土地理院の空中写真を用いることにした。

そして研究のもう一つの目的として、アマモ場調査の難しさがある。一般的な調査には潜水などが含まれ、相応の装備や、場合によっては船が必要となる。そこでUAVによる空撮の有用性が認められれば、容易に長期的なモニタリングが可能となると思われることから、今回この研究を行うこととした。

II. 調査地域の概要

松川浦は福島県北東部に位置する最大水深約

5.5mの潟湖である(図1)。湖の形状は南北約5kmで、太平洋(仙台湾)と並行するように延びている。湖と海の間は幅50mほどの砂州の堤防によって遮られているが、湖の北部に外洋と行き来できる水路(浦口)が開削されている。東西は北部が最大約3km、中部から南部にかけては約1kmとなっている。

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震と、それに伴って発生した津波は、松川浦にも大きな影響を与えた。津波の高さは8.9m(気象庁2011)で、現在の浦口から約1.5km南東にある砂州の堤防が決壊した。津波の直撃を受けた干潟では、その生息基盤である砂や泥からなる底土が巻き上げられ、遠方へ運び去られてしまった(WWFジャパン 2013)。またこの地震

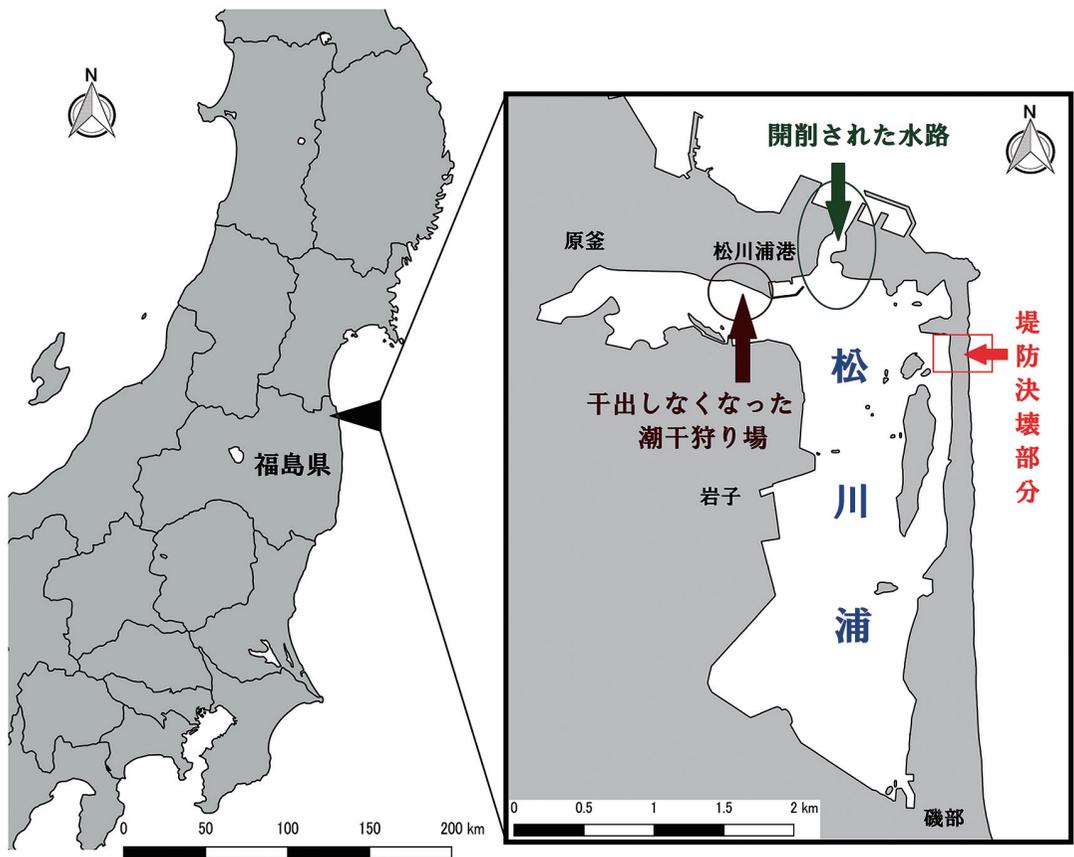


図1 調査地域の概要図

により、地盤が水平方向に250～450m移動し、垂直方向に30～70cmの沈降が起こった(国土地理院 2011)。さらに津波による底土の減少が合わさったことで、主な観光業のひとつである潮干狩り場をはじめ、多くの地点で大潮でも干潟が干出しなくなった(涌井ほか 2011)。

ブレック研究所(2012)の調査によると、松川浦には190種ほどのベントスの生息が記録されている。これは仙台湾沿岸域の干潟の中では最も生物多様性が高いといわれている。それゆえ環境省「日本の重要湿地500」および「ラムサール条約湿地潜在候補地」にも指定されている。

なお、環境省自然環境局生物多様性センター(2015)における松川浦の藻場分布は、潟湖内はアマモ場が主体となっており、外洋に出るとアラメ場の存在が確認されている。

Ⅲ. 調査方法

1. 使用機材とソフトウェアについて

本研究では現在のアマモ場分布を調査するために、UAVによる空撮を行った。使用した機材はDJI社製のPhantom3 Professionalで、2015年に発売されたマルチコプター型UAVである(写真1)。

この機体の主な特徴は、約23分と比較的長い飛行時間有し、高精度のGPSによって機体の位置や操縦者を正確に把握できるように設計されていることである。また、搭載されているカメラは94°の視野角を有し、有効画素数は1,240万画素である。

さらにオートパイロットソフトなども開発され、任意の時間帯や高度、オーバーラップ率で飛行させることが可能となった。その一方で電池残量に大きく依存するため、あまり広い範囲の撮影には向いておらず、天候や航空法の制限などの予備調査も欠かせない。加えてプロペラが高速で回転するため、周囲の人や物へ細心の注意を払う必要があり、最悪の場合墜落や暴走



写真1 調査に使用したUAV

の危険性も併せ持っている。

なお、機体の制御には、Automotive Data Research社が配布している「Map Pilot for DJI」を使用した。

2. 現地調査と判読方法

UAVを用いた調査範囲の選定には、環境省自然環境局生物多様性センター(2015)やブレック研究所(2012)などの調査結果や空中写真を参考に選定をした。そしてそこから図2の6カ所を、調査範囲として選出し、調査を行った。

表1は各調査場所の気象データと飛行時の設定を一覧にまとめたものである。調査は2016年11月14日から11月15日の2日間に分けて実施した。撮影は1日3回ずつ計6回を図2の場所より行い、事前に当日の天候と風速の確認は必ず行った。撮影時はUAVのバッテリー残量が非常に重要なものとなるので、飛行時間は念入りに確認する必要がある。Phantom3 Professionalの最大飛行時間は23分とされているが、風などの条件によりバッテリー消費に差が出てくる。そこで本調査では安全のため飛行時間を7～8分程度に制限した。また、着陸操作は手動で行った。

そのほか空中写真を用いた経年変化の検証では、国土地理院1972年9月、2006年9月、2011年3月、2013年9月撮影のものを使用した。写真は濁度が小さく、潟湖底まで視認出来るもの



2016年11月14日		2016年11月15日	
①	宇多川河口右岸	④	潮干狩り場周辺
②	浦口南東部	⑤	小泉川河口
③	松川浦港南部	⑥	松川浦中西部

図2 UAVによる空撮範囲

2013年9月に撮影された国土地理院の空中写真を背景図として使用した。

表1 各調査地の気象条件とUAVの設定

日付	11月14日			11月15日		
撮影場所	①宇多川河口右岸	②浦口南東部	③松川浦港南部	④潮干狩り場周辺	⑤小泉川河口	⑥松川浦中西部
撮影時刻	9:28-9:34	11:38-11:43	12:05-12:11	7:35-7:41	7:52-8:01	8:11-8:16
天候	晴れ(雲量70-80%)	晴れ(雲量70-80%)	晴れ(雲量70-80%)	曇り(雲量90%以上)	曇り(雲量90%以上)	曇り(雲量90%以上)
風向(地上)	東南東	北東	北東	西南西	西南西	西北西
平均風速(地上)	0.7m/s	2.0m/s	2.3m/s	1.6m/s	1.0m/s	1.1m/s
高度	100m	100m	100m	100m	100m	100m
総飛行距離	3.58km	3.41km	3.70km	3.84km	3.81km	3.58km
総飛行時間	7分33秒	7分16秒	7分45秒	8分00秒	7分55秒	7分33秒
撮影面積	5.35ha	7.89ha	6.05ha	7.99ha	6.74ha	5.35ha
オーバーラップ率	80%	80%	80%	80%	80%	80%
撮影枚数	88枚	104枚	89枚	91枚	94枚	75枚
絞り	2.8(パンフォーカス)	2.8(パンフォーカス)	2.8(パンフォーカス)	2.8(パンフォーカス)	2.8(パンフォーカス)	2.8(パンフォーカス)
ISO	100	100	100	100	100	100
シャッタースピード	1/120秒-1/220秒	1/120秒-1/220秒	1/120秒-1/220秒	1/100秒-1/230秒	1/100秒-1/230秒	1/100秒-1/230秒
ホワイトバランス	オート	オート	オート	オート	オート	オート

を選定した。また植物であるため、季節変化の影響を最小限に抑える目的で、撮影時期を統一する必要もある。本来ならばアマモの生育期である5～6月が最も好ましいが、適当な写真が得られず、UAVの調査時期からも9月撮影の写真を使用した。

アマモ場の判読には、生物多様性センター(2015)が作成した判定基準をもとに、目視による判読を行った。判読したアマモ場はトレース紙にトレースし、デジタル化した。

また判読の際に、相馬双葉漁業協同組合松川

浦地区(以下、漁業組合とする)より文書にて助言を得る事が出来た。

IV. 結果

1. UAVを用いたアマモ場分布図

図3は、宇多川河口右岸の藻場をトレースし、UAVで撮影した画像にオーバーレイしたものである。宇多川河口右岸は、外洋との接続地点である浦口から南に直線距離で約1.6km離れた場所に位置している。宇多川は阿武隈山地

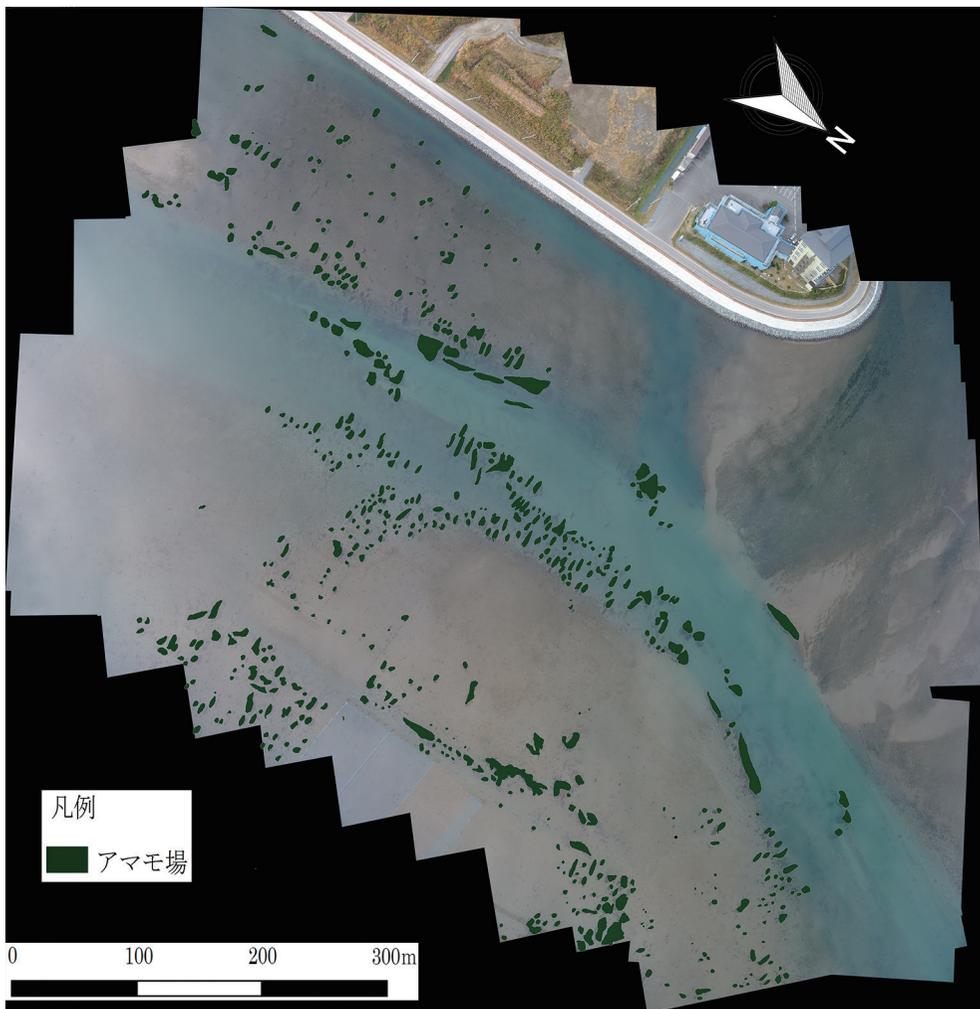


図3 宇多川河口右岸のアマモ場分布

を起点に松川浦へ流れる河川で、南西から北東に向かって松川浦に合流している。この場所はブレック研究所(2012)の調査で、底土の攪乱が比較的軽度とされている。

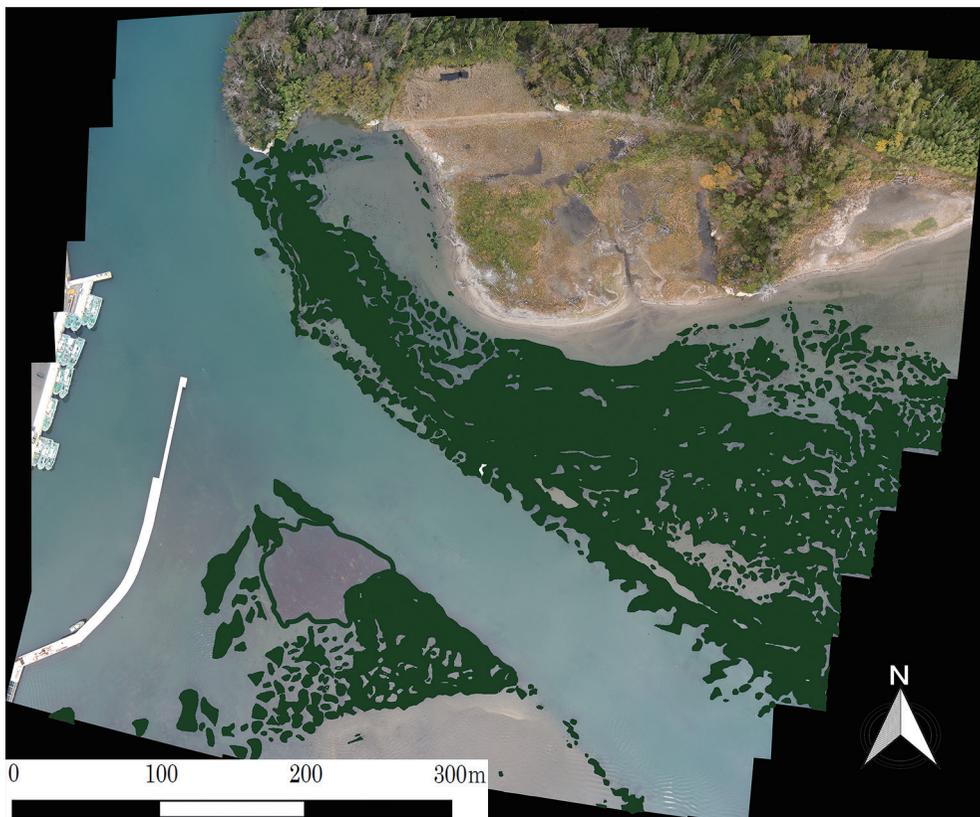
初めに図中の青が濃くなっている部分は、船の通行のために浚渫された水路で、斜面上部付近を中心にアマモ場が多く分布していることが読み取れる。これらの藻場の多くは長辺3～5mほどの円形か楕円形で、パッチ状に分布している。しかし中には、長辺が30m近くある大きな藻場も確認出来た。また宇多川河口では、浅瀬の部分でもある程度のまとまりを持ったアマモ場が見られた。

外洋との接続部分である浦口周辺の図4と

図5の場所では、最も広範囲にアマモが分布していることが分かった。これは新井(2013)の震災直後の潜水調査にて、この付近に2年生以上の個体が確認されていることから、津波の影響を免れたものの可能性が高いとされている。アマモ類は種子だけでなく、地下茎による栄養繁殖も行うため、2年生以上の株が残っていれば比較的早く回復する可能性がある。

浦口は1910年に人工的に開削されたもので、松川浦と外洋を繋ぐ唯一の場所である。それまで浦口は今回堤防が決壊した場所の辺りに存在していた(日本地誌研究所 1971)。

図3と比較した際の大きな違いは、その分布のしかたにあるといえる。宇多川河口右岸で



凡例

■ アマモ場 □ アマモを含む地蒔きの養殖カキ

図4 浦口南東部のアマモ場分布

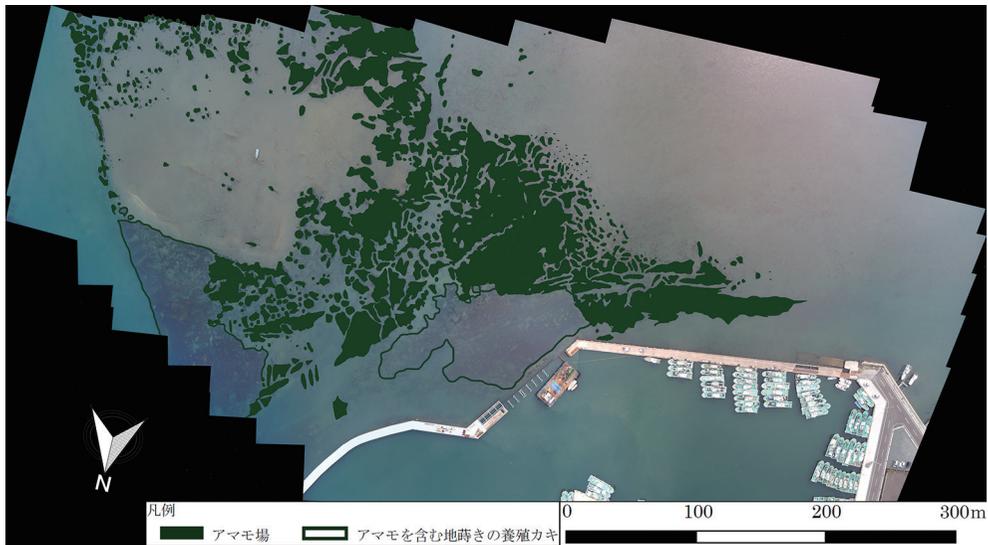


図5 松川浦港南部のアマモ場分布

は、浚渫された水路と浅瀬の傾斜部分を中心にアマモ場が分布していた。しかし浦口周辺では、水路から離れた浅瀬から岸にかけての場所でも密集して分布しているのが確認できた。ただし西部の一部にはアマモ場がほとんど見られない場所が存在し、水路との傾斜部分にのみパッチ状のアマモ場が確認できる。この点は図3の様子とよく似ていた。

また図中には、地蒔きのカキとアマモ場が混在している部分がある。漁業組合への問い合わせによると、この部分がアマモ場よりも赤茶色に見えるのは、カキの上に切れた藻などが堆積しているからだろうという回答を得られた。

さらに新井(2013)によると、浦口周辺にはタマハアキモク群落(*Sargassum muticum*)の存在が確認されていたが、本研究の判読手法では判読を行うことが出来なかった。

図6の潮干狩り場周辺は、浦口から南西に直線距離で約1kmの場所に位置している。図の中央にある浅瀬が震災前に潮干狩り場があった場所で、周りを浚渫水路で囲まれている。

震災前は潮干狩り場として観光客向けに営業

していたが、地震による地盤の沈降により干潟が干出しなくなった。干出しなくなったことによって、ここが新たなアマモの分布域になっているのかを明らかにすることを目的に撮影を行った。

その結果、小規模ながらもパッチ状に群生したアマモ場の存在が確認できた。やはりこれまで同様、水路に近い場所を中心に分布している。藻場の長辺は、約3m~5mの円形か楕円形をしたものが多かった。しかしながら一時期のみの図では震災前の様子と比較することが出来ず、これ以上の判定は不可能であった。

図7の小泉川河口は、浦口から直線距離で南西方面に約1.3kmの場所に位置している。流入する小泉川は相馬市西部に源流を有し、この場所で松川浦に合流する。流域は主に相馬市街地と水田であり、図3で述べた宇多川河口とは直線距離で約650m離れた場所に位置している。震災の影響は図6と同じく、津波による底土の攪乱と地盤の沈降が主なものとなっている。この場所は既存の研究ではあまりアマモについて述べられていないが、アマモ場が確認されてい

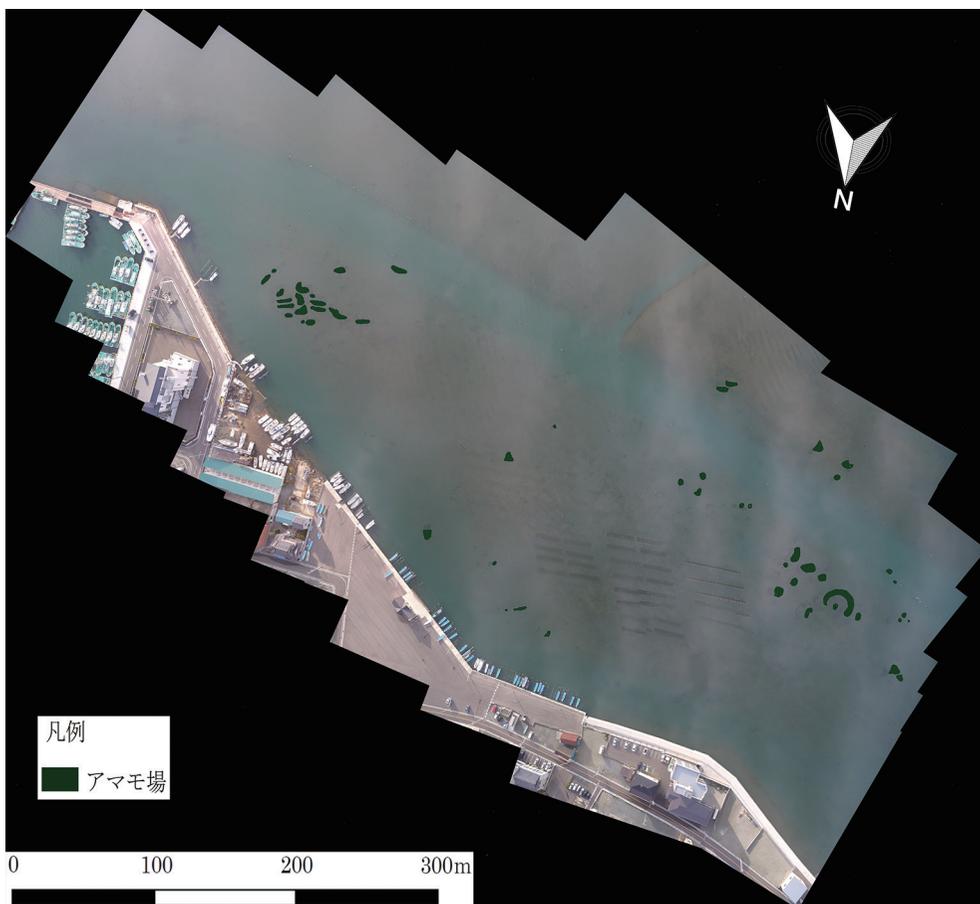


図6 潮干狩り場周辺のアマモ場分布

る宇多川河口との比較として選定した。

判読の結果、図5の宇多川河口のような長辺が数十メートルを超える比較的大きな藻場は見当たらなかった。しかしながら全く確認出来なかったのではなく、長辺3~5mのアマモ場が一部パッチ状に分布している様子を確認することができた。アマモ場は図の中央から北へかけての水路周辺と、河口右岸の浅瀬の一部が中心となっている。ただし撮影時は少し水が濁っており、見逃しがある可能性も考えられる。

図8で松川浦中西部と名付けたこの場所は、浦口から西部の最奥部へ続く部分の中間付近で、浦口からは直線距離で約1.3kmである。図6、7

で述べた潮干狩り場周辺や小泉川河口よりもさらに西側にあり、今回の調査で最も西に位置している。幅が約480mで南北部分(約1,400m)よりも細くなっており、北側の岸から約190mの場所に浚渫された水路がある。水路の幅は約35mで、震災後ガレキの撤去と航路確保のための浚渫があり、人為的にも底土が大きく攪乱されている(鈴木 2013)。

その結果、今までの傾向と同様に、水路の周辺にパッチ状のアマモ場が確認できた。ところが今までのような水路と浅瀬の傾斜部分ではなく、浅瀬の部分にのみ分布しているように見える。また、松本(2016)によると、この辺りに

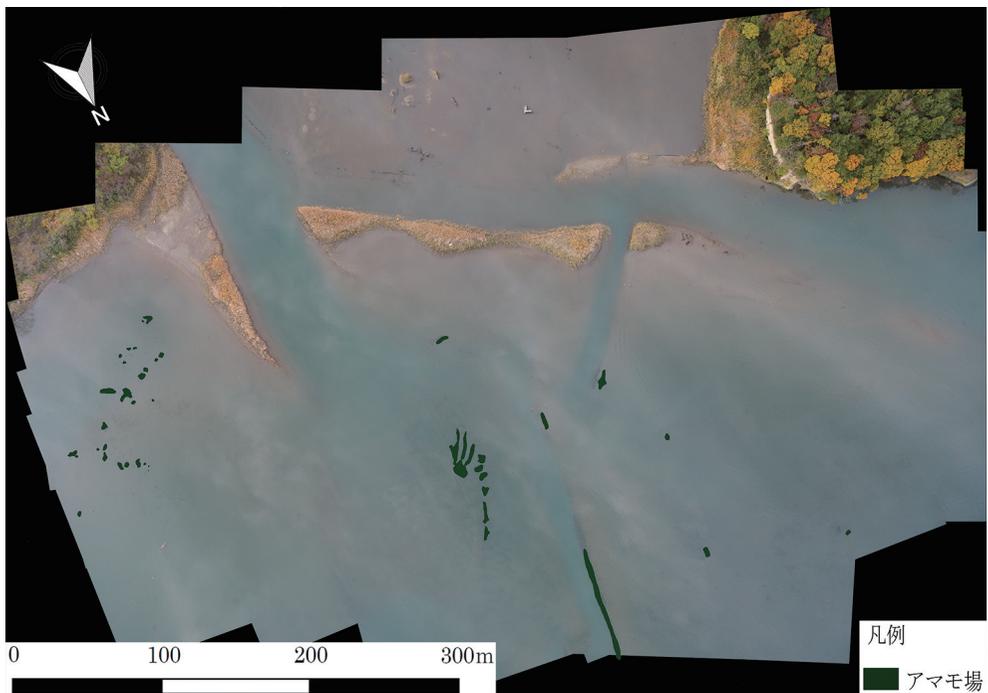


図7 小泉川河口のアマモ場分布

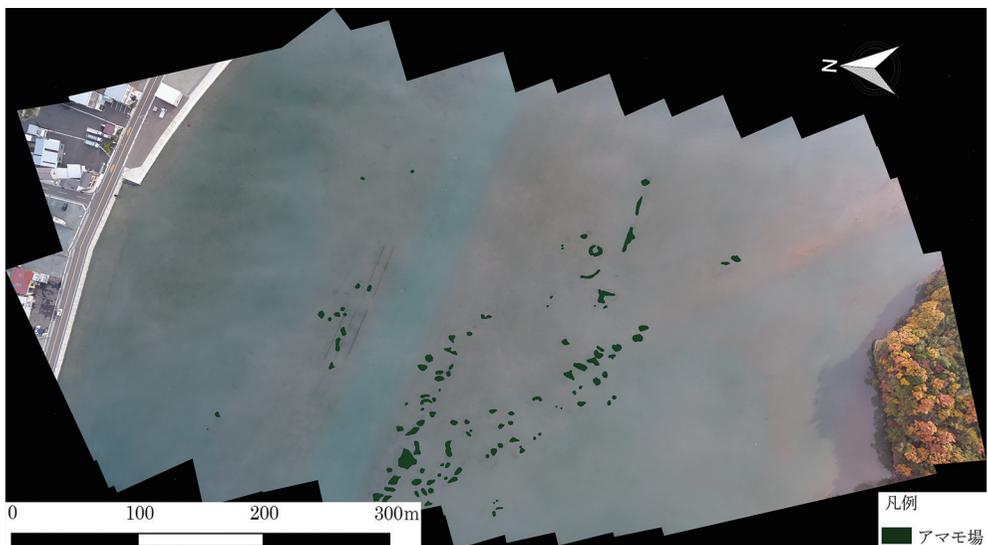


図8 松川浦中西部のアマモ場分布

アマモが繁茂し始めたのは2015年以降のようであり、震災以降新たに出現した藻場の可能性が考えられる。しかしながらこれが浚渫の影響

であるかは不明である。多くのアマモ場が長辺3m~10mで、水路を挟んで南側の方が多く確認できた。この南側には図7の小泉川河口があ

る。またどちらのアマモ場も岸からすぐの場所ではなく、岸から150m程度離れた場所に多く分布していることが読み取れる。

2. 空中写真を用いた経年変化

図9と図10は、空中写真の判読結果である。まず図9の2011年を見てみると、東部にある砂州の堤防が決壊しているのが読み取れる。すぐに決壊部分は塞がれたが、現在もこの付近は立ち入りが出来ず、UAVによる撮影は行えなかった。鈴木(2013)によると、底質は決壊部分の近くにあった砂泥が失われ、現在は砂が堆積している。松川浦のアマモは含泥率30%程度が最適といわれ(松本 2016)、砂質での生育は難しい。その影響か、2006年に東部の砂州付近に広く分布していたアマモ場は、2013年になると多くが失われているのが確認出来た。

浦口から約500m南西の部分は、和田(2012)においてアマモの密生度の現地調査が行われた場所である。調査は2012年8月に行われ、アマモが帯状、またはパッチ状に繁茂していることが確認され、平均密度は 456 ± 161 本/m²であった。それを踏まえた上で図9の2013年を見てみると、空中写真判読からは細部の判読までは難しいものの、着実に回復傾向であることが読み取れる。和田(2012)においても、この場所のアマモ場は確実に回復傾向にあるとされ、図と比較してみてもこの指摘と合致する。

宇多川河口右岸の辺りでは、現地調査にまでとまったアマモ場を確認することが出来たが、震災以前に撮影された1972年や2006年の空中写真からはアマモ場の存在を確認することは出来なかった。

松川浦最奥部の図10では、震災前へドロ状の軟泥が堆積していたが、津波によって持ち去られ、底質が改善したことが鈴木(2013)の調査にて明らかになっている。しかしながら空中写真からは濁りのため判読が出来ず、UAVによる撮影も工事中のために行えなかった。判読

は図の中央あたりから可能となり、図9と同じく、1972年から2006年にかけてアマモ場が拡大しているのが読み取れる。そして2011年の津波以降、藻場の多くが失われたようである。

最後に長谷川(2013)が行った漁業関係者への聞き取り調査によると、1990年代後半から松川浦全体にアマモが増えてきたという証言がある。図9、10共に1972年と2006年を比較すると、確かにアマモ場は増加傾向にあり、この証言を裏付けるものとなっている。しかしながら範囲の拡大は確認出来たものの、いつごろから始まったかについて議論するにはもう少し多時期のデータが必要であると思われる。

V. 考察

本研究では、UAVや空中写真からアマモ場の判読を行い、以下の特筆すべき点が見つかった。

震災後の大きな変化として、特に図3、4、5の場所では、2013年から2016年にかけて分布拡大の傾向が見られた。しかしながら仮に分布域が拡大したとしても、それが津波から残存したアマモか、流されたアマモが定着したものの判断は、写真判読からでは限界がある。

また図3の辺りにはヒロハノヒトエグサ(アオノリ)の養殖場があり、アマモ場の養殖場への侵入が顕著になれば水産業への影響も懸念される。同じような現象は図4、5の浦口周辺ですで見られ、この場所では地蒔きのカキとアマモ場が混在していることが漁業組合への問い合わせで明らかになった。漁業関係者にとってアマモ場はどのような存在であるかを漁業組合へ問い合わせたところ、以下の回答が得られた。

漁場に於けるアサリの採捕には、アマモは不適切なもので作業の支障になる。砂地に根付くアマモの根は、マンガ(アサリの採



1972年9月



2006年9月



2011年3月



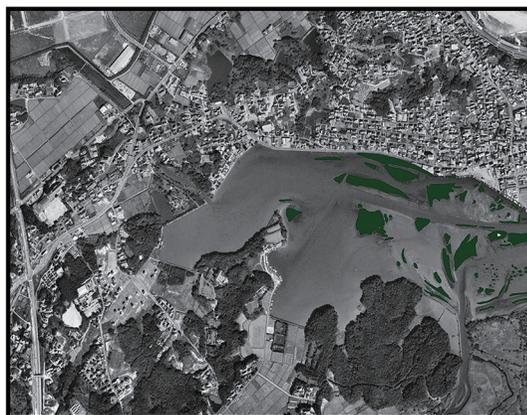
2013年9月



図9 松川浦北東部におけるアマモ場の経年変化
2011年はトレースを行っていない。



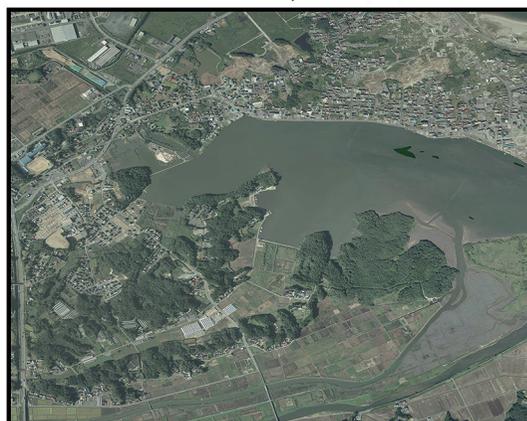
1972年9月



2006年9月



2011年3月



2013年9月



図10 松川浦北西部におけるアマモ場の経年変化

2011年はトレースを行っていない。

捕器具)の爪に刺さり起きてこない。又、アサリの生育漁場としても藻に覆われた場所では生育できない。

このことから、水産業を行う上でアマモ場は大きな支障となっていることが分かる。しかしながら生態系に大きく関係するアマモ場を完全に排除してしまうと、後の水産業に何らかの影響を及ぼすことが想定される。特に震災後に確

認された藻場に関しては、引き続きモニタリングを行い、分布状況に応じた解決策を模索する必要があると思われる。

次にアマモ場が繁茂するための大きな要因の一つとして、水深と底質(特に含泥率)がある。アマモは干潮時でも干出しない場所に生育する植物であるため、潮干狩り場周辺をはじめ、北部の多くの場所で干出しなくなったことは、アマモ場の分布拡大の可能性を示唆している。松

川浦の場合、地盤沈降はアマモにとって良い方向に作用したが、中には地盤の沈降により、アマモ場が著しく減少した例も報告されている。仙台湾北部に位置し、松川浦と同じ潟湖である万石浦がその一例である。万石浦は地震による地盤沈降が1m程度に達し、水深に伴う光量の減少がアマモの著しい減少を引き起こした(仲間ほか 2017)。

そしてもう一つの要因である底質は、IVの結果でも触れたが、含泥率30%程度の砂泥質が松川浦のアマモには最適とされている(松本2016)。震災前後における松川浦の底質分布としては、北西部の一部、中央部、南東部の一部で含泥率が低下し、北部や南東部の一部で増加していることが日高ほか(2012)の調査で明らかになった。実際に本研究の調査範囲と、松川浦における含泥率の経年変化を調査した和田ほか(2013)を用いて照らし合わせてみると、宇多川河口右岸を除くすべての場所で含泥率が20%~40%の間であることが判明した。宇多川河口右岸は、震災以前には30%程度あったが、震災後は20%以下に推移した。この点を踏まえると、宇多川河口右岸はアマモの成育には適さない底質であると考えられるが、2016年の現地調査では図3のように多くのアマモ場を確認することが出来た。なぜ含泥率の低い場所でアマモが成育可能であるかの明確な原因は不明だが、恐らくこの間に宇多川からの土砂の供給などによって、再び含泥率が上昇したのではないかと推測される。

震災以外にもアマモ場の分布に大きな影響を与えたと考えられるものがあり、それは水路の浚渫である。長谷川(2013)が行った漁業関係者への聞き取りによれば、1970年代前半の水路浚渫(松川浦浅海漁場開発事業)によって、アオノリの生産性が向上したようである。これは外洋との水交換が改善され、水温や塩分濃度が外海水とほぼ均一化したことが大きな理由と言われている(柳内ほか 1976)。実際図9、10を

見ても、2006年のアマモ場分布は1972年よりもさらに拡大しており、水路浚渫はアマモの分布拡大の大きな要因になったと考えられる。

UAVの画像では、水深が浅く、濁りや波が最小限であれば、湖底の判読は容易であった。また拡大することによって、小さな藻場の判読も行うことが出来た。小さな藻場は今後のアマモ場分布の手掛かりとなるため、この段階で判読できることの意義は大きいと言えるだろう。

欠点は濁りや水面の乱れなどが判読に大きな影響を与えることである。特に濁りについては最も難しい課題の一つであった。アマモは生育期が5~6月なので、梅雨の降雨と重なってしまい、調査を難しくすると考えられる。

最後にUAVの利点を生かしつつ経年変化を理解するためには、同じ場所を連続して長い期間調査しなくては行けない。アマモは植物であるため、継続した調査が欠かせない。UAVの大きな利点の一つは、空中写真や衛星データよりも自由度が高いことにある。UAVとオートパイロットソフトさえあれば、任意のタイミングで同じ場所を繰り返し撮影することが出来る。よって多時期に渡って同じ場所を撮影し続けられれば、もっと長期的なアマモ場の動きを知ることが出来る。確かにグランドトゥールースとして一度水中を確認する必要もあるかもしれないが、それでも潜水を伴わずに簡易的な調査が行えるUAVの意義は大きいと思われる。

謝辞

本研究の判読作業において、相馬双葉漁業協同組合松川浦地区よりきわめて貴重なご意見をいただいたほか、福島県水産試験場相馬支場には、現場にて対象の確認をしていただきました。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

新井章吾 2013. 東日本大震災による湿地・藻場環境の変化と環境復元・再生に向けた方策の検討—宮城県志津川湾・福島県松川浦の事例—. WWFジャ

- パン編.『WWWFジャパン 暮らしと自然の復興プロジェクト 実施報告書』公益社団法人世界自然保護基金ジャパン. 34-41.
- 井上 公・内山庄一郎・鈴木比奈子 2014. 自然災害調査研究のためのマルチコプター空撮技術. 防災科学技術研究所研究報告81: 61-98.
- 大滝末男・石戸 忠 2007.『復刻版 日本水生植物図鑑』北隆館. 318pp.
- 株式会社 ブレック研究所 2012. 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. 55pp.
- 環境省自然環境局生物多様性センター 2012. 平成23年度重要生態系監視地域モニタリング推進事業(モニタリングサイト1000) 沿岸域調査 調査報告書 磯・干潟・アマモ場・藻場. 72pp.
- 環境省自然環境局生物多様性センター 2015. 平成26年度東北地方太平洋沿岸地域植生・海域等調査 調査報告書 5.藻場・アマモ場分布調査. 49pp.
- 財団法人 国立公園協会 2012. 東日本大震災による東北地方太平洋沿岸域の重要湿地の被害概況調査報告書. 103pp.
- 鈴木孝男 2013. 底生動物からみた松川浦の自然環境と震災の影響. WWFジャパン編.『WWWFジャパン 暮らしと自然の復興プロジェクト 実施報告書』公益社団法人世界自然保護基金ジャパン. 20-33.
- 鷹崎和義 2011. 松川浦の増養殖の安定化に関する研究—松川浦の底質鉛直分布調査—. 福島県水産試験場事業概要報告書相馬支場55-56.
- 仲岡雅裕・玉置 仁・村岡大祐・徳岡誠人・小松輝久・田中法生 2017. 三陸沿岸域におけるアマモ場の東日本大震災前後の変化. 日本水産学会誌83(4): 659-663.
- 日本地誌研究所編 1971.『日本地誌 第4巻一宮城県・山形県・福島県—』二宮書店. 566pp.
- 長谷川均 2013. 松川浦と周辺地域の変化. WWFジャパン編.『WWWFジャパン 暮らしと自然の復興プロジェクト 実施報告書』公益社団法人世界自然保護基金ジャパン. 60-67.
- 長谷川均 2014. UAV(自立型飛行体)を使った高解像空中写真の撮影と活用—サンゴ礁浅海域での事例—. 国土館大学地理学報告22: 13-21.
- 日高正康・湧井邦浩・神山亨一・鷹崎和義・西隆一郎・山下善・林健太郎 2012. 福島県松川浦の東日本大震災前後での底質・地形変化. 土木学会論文集B3(海洋開発)68(2): 186-191.
- 福島県 2009. 二級河川小泉川水系河川整備基本方針 松薫る 緑豊かなふる郷に めぐみの流れ いつまでも—明日に飛躍する活力の源として— 7pp.
- 松本 陽 2016. 松川浦の増養殖の安定化に関する研究—松川浦におけるアマモ場面積の経年変化—. 福島県水産試験場事業概要報告書相馬支場81-82.
- 三重県農水商工部 水産基盤室 2008. アマモ場再生ガイドブック. 62pp.
- 柳内直一・大和田淳 1976. 松川浦の作れい後の流況について. 福島水試験報4: 115-120.
- 涌井邦浩・西隆一郎・平川直人・神山亨一・岩崎高資・鷹崎和義 2011. 松川浦の増養殖の安定化に関する研究—松川浦の水深調査—. 福島県水産試験場事業概要報告書相馬支場53-54.
- 和田敏裕 2012. 松川浦の増養殖の安定化に関する研究—松川浦のアマモ場調査—. 福島県水産試験場事業概要報告書相馬支場86-87.
- 和田敏裕・岩崎高資 2013. 松川浦の増養殖の安定化に関する研究—松川浦の底質水平分布調査—. 福島県水産試験場事業概要報告書相馬支場90-91.
- 和田敏裕・岩崎高資 2013. 松川浦の増養殖の安定化に関する研究—松川浦のアマモ場調査—. 福島県水産試験場事業概要報告書相馬支場92-93.
- http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/tamenteki/kaisetu/moba/moba_genjou/
2011年11月10日. 藻場の働きと現状. 水産庁.
- http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/10min_a1.php?prec_no=36&block_no=0285&year=2016&month=11&day=15&view=p1
2016年11月21日. 過去の気象データ. 気象庁.
- <http://www.tenki.jp/past/2016/11/15/2/10/47595.html>
2016年11月21日. 福島の実況天気. 日本気象協会.
- <http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun40003.html>
2016年12月1日. 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う地盤沈下調査. 国土地理院.
- http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201101/saigaiji_201101.html
2017年10月3日. 災害時地震・津波速報 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震. 気象庁.