

## イシモズクの生殖状況を指標とした柏崎港周辺海域の水環境の変化について

【水工学研究室】10328386 杉山郁真  
指導教員 犬飼 直之

### 1. はじめに

海に囲まれる我が国では水産業は盛んに行われており、極めて重要な産業である。新潟県でも水産業は盛んに行われている。また、新潟県では海藻類の漁業が盛んであり、その中でもイシモズクは海藻類の中でも主要な項目であり、イシモズクの収穫量の変化が水産物の収益に大きな影響を与えていると考えられる。また、イシモズクは1年草であり、その年の水環境が生殖に大きな影響を及ぼすと考えられることから、イシモズクは水環境の状況を把握する指標としても極めて重要であると考えられる。

しかし、イシモズクの生態系についてはよく知られておらず、近年でも毎年の収穫量に差が生じており、安定的なイシモズクの収穫のためにもイシモズクの生態及び生殖条件を把握することは重要だと考えられる。そこで、本研究では、新潟県におけるイシモズクの生殖の現状を調査し、イシモズクはどのような条件下で生息するのか。また長期的にイシモズクの生殖条件はどのように変化するのかを把握して、これを指標として、将来柏崎周辺海域の水環境がどのように変化するのか把握できるようにする事を目的とする。

本研究はその前段階として、イシモズクの生殖条件を明確にし、波浪や日照条件など生殖に影響ある要素を把握した。

### 2. イシモズク生殖状況の把握

#### 2.1 現地調査

本研究を進めるにあたり、柏崎港周辺のイシモズクの生殖状況を知るために、新潟県の中でも大きい柏崎マリーナ付近の藻場を調査した。また、この地点（柏崎港横の東の輪（とうのわ））を研究対象地点とし、研究を進めていくこととした。対象地点の大きな位置として図-1 に示す。

調査では、イシモズクの分布状況の観察・サンプルの採取を行なうことにより現存量を把握し、生殖状況を評価することを目的としている。調査項目は、分布状況観察調査、定点観察調査、試料採取調査の3点である。各調査の作業風景を図-2 および図-3 に、イシモズクが生殖している様子を図-4 に示す。

調査の結果より、イシモズクの分布状況を疎、中密、密に分類し、調査年度における分布状況ごとの着生面積、分布図、湿潤重量を確認した。また、これを用いて以下の①～④の検討を行なった。

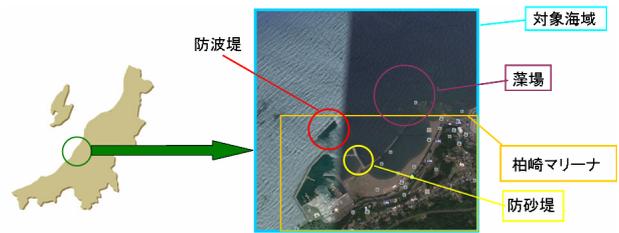


図-1 研究対象地点（柏崎マリーナ）



図-2 分布状況観察調査作業風景

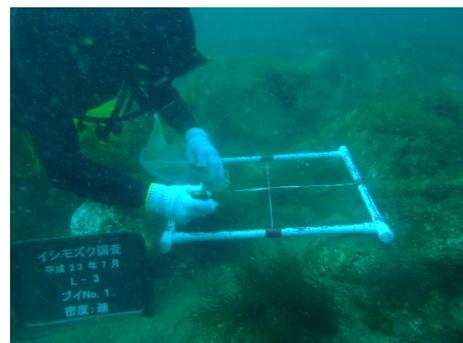


図-3 定点観察調査，資料採取作業風景



図-4 イシモズクが植生している様子

- ① イシモズクの生殖状況
- ② 調査で得られた推定現存量および調査海域を含む周辺海域の漁獲量の整理を行い、自然変動の範囲と推定現存量の比較
- ③ イシモズクの着生状況の変化を検討

- ④ 砂の堆積・移動による海底底質の変化および推定現存量の変化の関係を検討
- ⑤ 時化回数の経年変化を把握し、推定現存量と時化回数の関係を検討

そして、これらから次のことがわかった。

- ① イシモズクの生殖場所は、水深 5 から 8m 程度の海底で、背後に岩礁、直径 50cm 程度の玉石や綺麗な岩の表面に生殖する。
- ② イシモズクの年毎の推定現存量を把握した。
- ③ 砂や岩場の海底質の毎年の状況とイシモズクの現存量の関係については明らかな相関は見られなかった。
- ④ 時化回数が多いほど推定現存量が多くなるという関係が見られた。  
また、時化回数と現存量とに関係がみられたが、どれくらいの大きさの波高が水深 5～8m 藻場の海底に影響を与えるのかが分からないため、今後それを明確にしていく必要がある。

## 2.2 既往文献調査及び漁業関係者への聞き取り調査

既往論文<sup>1), 2), 3)</sup>からイシモズクの生殖条件について調査をおこなった。しかし、枯れ始める時期などの生殖条件やイシモズクの生活史に不明な点が存在したため、出雲崎、柏崎、寺泊それぞれの漁業関係者に聞き取り調査を実施した。聞き取り調査をおこなった際の対応者を表-1 に、聞き取り項目を表-2 に示す。

表-1 聞き取り調査対応者一覧

■ 寺泊海域 (北端不明～落水付近)	
日時	平成26年1月31日(金) 10時～10時50分
場所	寺泊港横番屋
対応者	寺泊漁業協同組合関係者 漁船船長
■ 出雲崎海域 (落水付近～刈羽原子力発電所7号機付近)	
日時	平成26年1月31日(金) 11時15分～12時
場所	新潟漁業協同組合出雲崎支所
対応者	新潟漁業協同組合出雲崎支所関係者 新潟県漁業協同組合理事出雲崎共栄組合関係者
■ 柏崎海域 (椎谷付近～柿崎竹鼻付近)	
日時	平成26年2月6日(木) 10時～10時10分, 17時～17時15分
場所	新潟漁業協同組合柏崎支所
対応者	新潟漁業協同組合柏崎支所関係者

表-2 聞き取り項目

1. 主要漁獲「海草類」の種類
2. イシモズクが生育している海底の様子
3. イシモズクの通年での生育状況
4. イシモズクの毎年の水揚げ量

## 2.3 各種調査結果まとめ

今までの現地調査や文献調査、聞き取り調査の結果より明らかになったイシモズクの生殖条件は以下の通りである。

- ① 水深 5～8m 程度の場所に生殖する (地形条件)。
- ② 水温が 12.6℃以下のときに胞子が石の表面などに着生する (水温条件)。
- ③ 長日条件(既往論文では気象庁の日照時間)は日照時間 10 時間程度となる時期 (日照条件)。
- ④ 着生時には、その前に高波高により海底がかく乱され、砂や着生基盤の移動により他の藻類や砂が綺麗に洗われている状態 (波浪条件)。
- ⑤ 照射強度が 10000lx 程度で成長は良好となり、600lx 程度になると成長が遅くなる (日照条件、濁度)。
- ⑥ 7 月上旬には成長が終了して枯れ始め、11 月頃には完全に植生が見られなくなる。

以上より、イシモズクの成長には地形、水温、日照時間、波浪、濁度の 5 項目が生殖に関係してくることが考えられる。よって、本研究ではこれらの要素がイシモズクの着生面積、湿重量、漁獲量にどのような影響を与えているかを把握するために、それぞれの観測結果を用いて検討をおこなった。

図-5 に、今回把握したイシモズクの生殖条件から作成し成長状況の経時変化 (生活史) を示す。

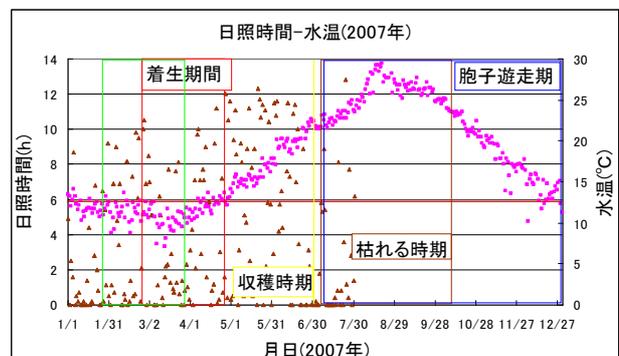


図-5 イシモズク生活史

### 3. イシモズクの現存量に影響ある要素の把握

本章では、イシモズクの着生面積、成長度、漁獲量と、前章で考えられた要素についてどのような関係があるのかを把握するために検討をおこなった。本研究では、成長度を検討する項目としてイシモズクの湿重量を使用する事とした。ここで、湿重量とは湿潤状態での試料の重さのことである。

この指標と、前章 5 つの要素の関係についてそれぞれ検討をおこなった。

#### 3.1 地形変化による現存量への影響性の把握

平成 19 年から平成 23 年までの柏崎港周辺海域の深淺図を新潟県柏崎地域振興局地域整備部より取得した。取得した深淺図を図-6 に示す。深淺図は水深が羅列されているものであり、調査海域では 31 本の測線がある。この測線を左から順番に測線 1～測線 31 と呼ぶこととした。まずこの 5 ヶ年において、地形変化の有無を確認した。

図中、藻場を含んでいる測線は測線 20～測線 24 である。藻場での地形変化の影響を見るためにここでは測線 20～測線 24 を検討することとした。平成 23 からそれ以前の年（平成 19 年から平成 22 年）までをそれぞれ引き、差分を示したものを図-7 に示す。図-8 では例として測線 20 のものを使用した。1 番多くの年をまたいでいる平成 23 年－平成 19 年は、地形変化が継続して同傾向で発生している場合、1 番大きな見て取れるはずであるが、図-8 を見ると平成 23 年－平成 19 年はどの年度よりも差分 0 に寄っており地形変化が見られないことが分かる。このことから、平成 19 年から平成 23 年の 5 年間では、地形変化による影響はほとんどないと考えられる。

このことから、この海域では水深の変化によるイシモズクの生殖環境への影響は少ないと考えられる。よって、本研究では、後におこなった生殖条件の項目から水深の情報を考慮しないこととした。

#### 3.2 海底に影響を及ぼす波高の推定

2.1 節の現地調査結果より、時化回数が多いほど推定現存量が多くなるという関係が見られたが、どれくらいの高さ以上の波高が海底に影響を与えるのか分からなかったことから、ここでは、海底に影響を与える波高の推定をおこなった。

波高に推定には波浪情報が必要であるが、該当海域周辺では観測データを公開している観測所がないことから、本研究では直江津の波浪しか使用できない。しかし、対象海域は柏崎であり、直江津から西へ約 30km の距離にあることから波浪状況が柏崎と

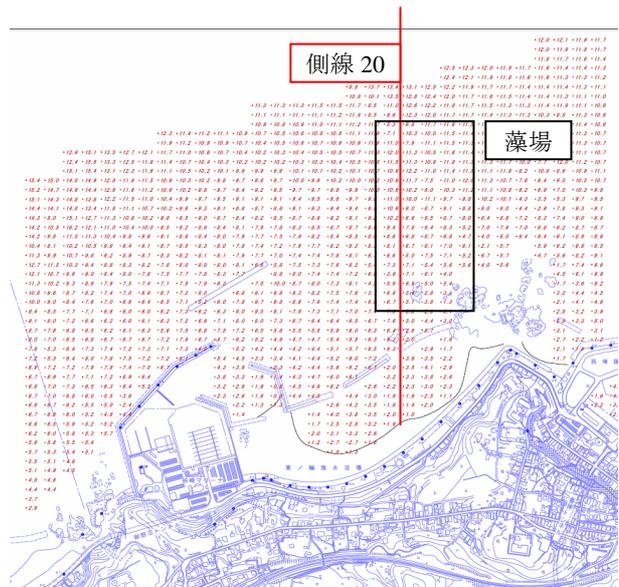


図-6 調査海域深淺図

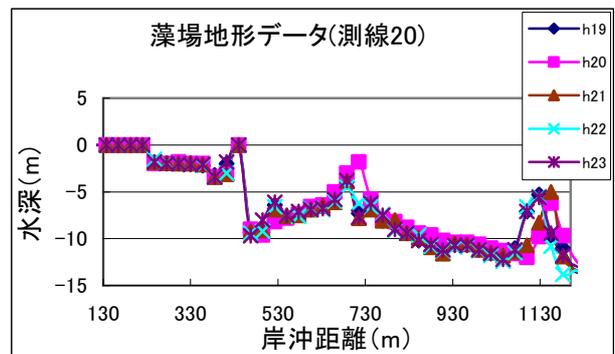


図-7 岸沖方向縦断面図

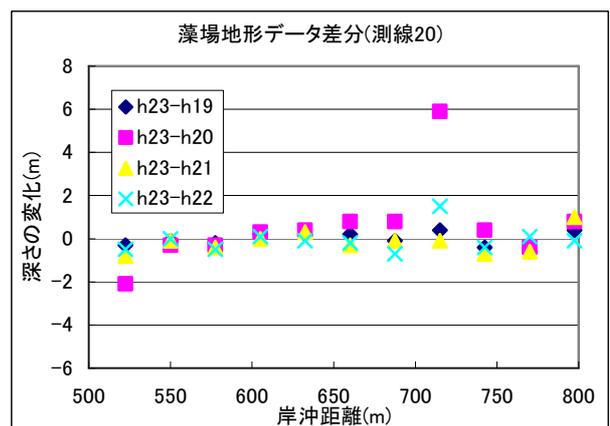


図-8 深さの変化（測線 20）

直江津とは異なる可能性があることから、まず、柏崎と直江津の波浪がどの程度異なるのかを把握することとした。ここでは、直江津の波浪データと、新潟県近海での波浪推算結果を比較し、直江津と柏崎の波浪状況の違いを把握した。

直江津の波浪データは 2009 年の冬季のデータを用いた。また、波浪推算では SWAN を用いた。波浪推算には典型的冬季波浪である 2003 年 12 月 20 日の波浪を用いた。

まず、図-9 に直江津の波高別波向出現頻度を示す。また、図-10 に波浪推算結果で、新潟県沿岸域での波高および波向き分布を示す。

図-9 より、直江津の波浪は NW, NNW の方向が最多で発生している。また、図-10 より、最多波向き方向は直江津からみると能登半島と佐渡島の間からの方角である。また、柏崎での波浪推算による波向も直江津とほぼ同様の方角となっており、直江津と柏崎での最多波向きは能登半島と佐渡島の間からの方角であると推定できる。また、波高についても、波浪推算結果より直江津と柏崎の波高には大きな差はないことが分かる。

以上より、直江津と柏崎の冬季波浪については、波高と波向きはほぼ同様であることがわかったので、本研究では直江津の波浪データをそのまま柏崎のデータとして使用することとした。

生殖条件より、冬季波浪がイシモズクの着生に影響を与えることがわかったが、どれくらいの大きさの波高が、藻場が生殖する海底に影響を与えるのかが分からないため、ここでは造波実験を行い、海底に影響を与える波浪条件を把握することとした。

まず、造波実験をおこなうにあたり、地形条件を把握した。藻場が生殖する海域では陸側に岩礁が存在することが多いことから、背後に岩礁が有るケースと無いケースに分けて実験をおこなった。

次に海底勾配について検討をおこなった。図-11 に柏崎の藻場から最多波向き方向の波浪が入射する方向への岸沖方向の縦断面図を示す。図より、海底勾配は 1/300 以下の勾配となっており、これを本研究で用いる造波水路で発生可能な波高・周期のスケールにあわせるとほとんど無視できる鉛直変位量となることから、本研究では勾配を与えないこととした。また、実験時の水深は、造波装置の性能から決定した波高・周期の関係から 15cm とすることとした。

表-3 に実海域で想定される波浪の有義波高および周期と、それに対応する造波装置で発生させた周期および波高を示す。これらは実験装置の性能にあわせて決定した。図-12 に、実験時に想定した波高および周期と、実際に得た値との比較を示す。図より、想定とおりの波高・周期となっていることがわかる。実験では、イシモズクがよく植生する大きさの石のスケールを実験にあわせたものを水路底に設置し、造波装置によって発生した波浪により移動するかどうかを確認した。石の大きさは、実海域では直径 50cm 程度の玉石の表面にイシモズクが多く

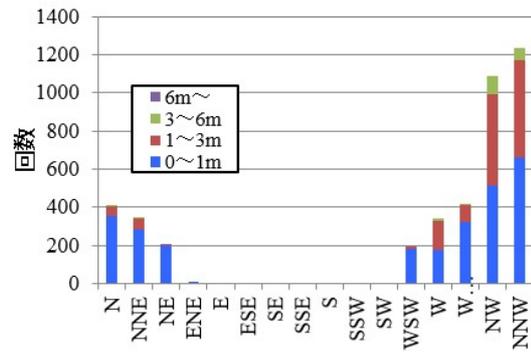


図-9 直江津波向頻度表(2009年)

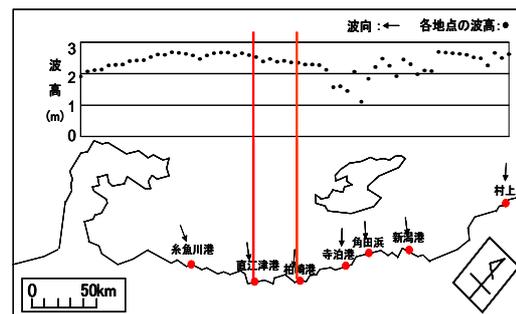


図-10 典型的冬型波浪時の波高分布

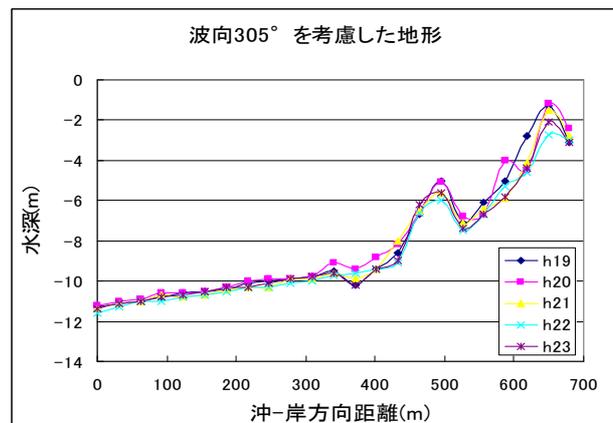


図-11 藻場からの最多波向方向の地形変化

表-3 実験条件

実際の波浪 (波高・周期)	造波実験での波浪 (波高・周期)
2m, 5 秒	0.04m, 0.82 秒
3m, 6.2 秒	0.55m, 1.08 秒
4m, 7.5 秒	0.07m, 1.24 秒
5m, 8.7 秒	0.09m, 1.33 秒

※背後に壁あり、壁無しの 2 ケースでおこなう。

生殖していたことから、実験室ではそのスケールにあわせて直径 1cm 程度の石を使用した。

実験結果では、壁なしケースの場合では、いずれ

の波高でも石の移動は確認できなかった。また、壁ありケースの場合では、波高 3m 相当までは石の移動は確認できなかったが、図-13 および図-14 に示すとおり、波高 4m 相当になると、3 秒後に初期位置から 0.1m (10cm) の移動が確認できた。これより、海底に影響を与える波高は 4m 以上であることとした。また、イシモズクは海底が荒れるとせっかく着生したものが剥がれてしまうという性質を持つことから、着生期間は純粋に日照時間と水温から割り出せるものではなく、最後に 4m を超える波浪がいつ来たのかも影響すると考えられる。

その例として、図-15 は波高 4m を越える波浪が着生期間に発生した年のイシモズクの生活史と波高の関係である。図より、着生可能な時期は 2 月後半程度となっているが、その期間中である 3 月中旬に 4m を超える波浪が発生していることから、本研究では、この年の実際の着生期間は 3 月中旬から 12.6℃ を超える 4 月下旬までの 1 ヶ月半程度であったとした。以上でイシモズクの生殖に関係ある要素のボーダーラインを把握することが可能となった。次章より、各種要素について検討をおこなった。



図-14 波高 4m 想定 3 秒後の位置(背後に壁あり)

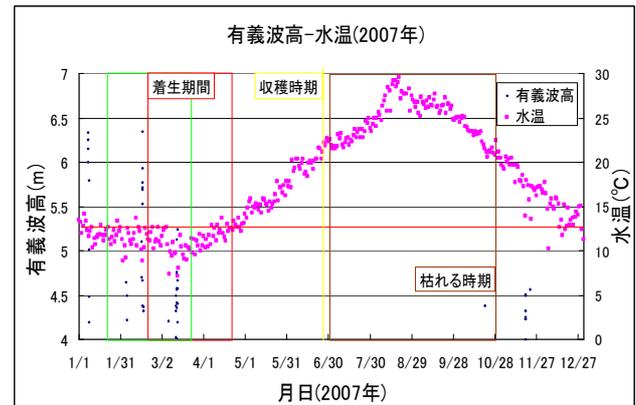


図-15 イシモズク生活史と波高の関係

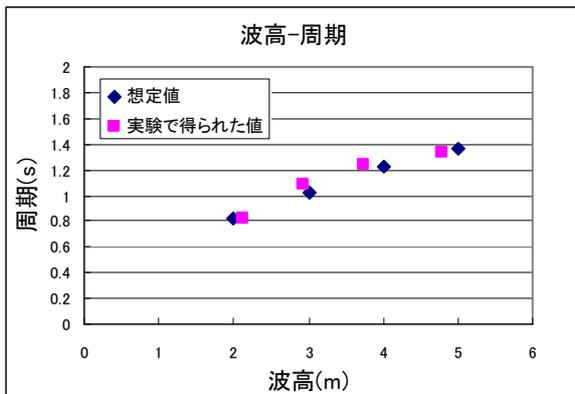


図-12 想定値と実験値の整合性



図-13 波高 4m 想定初期位置(背後に壁あり)

#### 4. イシモズクの生殖条件に影響ある要素の把握

イシモズクの生殖には地形変化、水温、波浪、日照時間、濁度が関係してくると考えられることを 2 章で述べた。本章では実際に 5 つの要素の中でどの要素が深く関係し、それがどの程度生殖に影響してくるのかを検討した。また、現地の濁度は計測していないため、流入してくる河川の水、降水などが海の水を濁す要因と考え、濁度に代わるものとし検討した。

イシモズクの着生面積、湿重量、漁獲量を 5 つの要素の様々な視点から検討していったところ関係性が見られたのは 24 項目であった。この 24 項目を図-16 に示す。この 24 項目を更に検討したところ重要だと考えられたものは全部で 9 項目であった。この 9 項目を図-17 に示す。

図-17 をみると似たような条件にもかかわらず着生面積、湿重量、漁獲量に差が生じている部分が存在する。似たような条件下でも 1 部違いが生じている場合、そこがイシモズクの生殖に関係してくると考えられた。そのように、図-17 を検討した結果以下のことが分かった。

着生面積が広がる条件

- ① 日照時間が 10 時間を超える時期が早い低温 (12.6℃以下) 期間が長い
- ② 最後の高波浪から、低温期間を超えるまでの期間が長い

湿重量大きくなる条件 (成長度が高い)

- ① 育成期間 (12.6℃を超えてから収穫までの期間) が長い
- ② 育成期間中の日照時間が長い (ただし囲まれた地形では日照時間が長すぎると逆に減少傾向になる)
- ③ 適度な降水がある。

また、漁獲量については両者の条件に依存すること

年次	着生面積 (m <sup>2</sup> )	着生面積の増減 (%)	着生面積の増減の要因	着生期間										水揚げ量 (kg)	漁獲量 (kg)	
				日照時間 (h)	水温 (℃)	降水 (mm)	波浪 (m)	潮流 (cm/s)	水深 (m)	底質 (種別)	着生開始日	着生終了日	着生期間 (日)			着生期間中の日照時間 (h)
2004	182	5.06	着生開始日	19	12.6	123	125	84	178	204	282	307	241	200	200	200
2005	193	5.32	着生開始日	19	12.6	123	125	84	178	204	282	307	241	200	200	200
2006	202	5.42	着生開始日	19	12.6	123	125	84	178	204	282	307	241	200	200	200
2007	405	6.76	着生開始日	19	12.6	123	125	84	178	204	282	307	241	200	200	200
2008	396	5.92	着生開始日	19	12.6	123	125	84	178	204	282	307	241	200	200	200
2009	427	6.49	着生開始日	19	12.6	123	125	84	178	204	282	307	241	200	200	200

日数	育成期間		着生期間																
	日照時間 (h)	水温 (℃)																	
16.45	-0.18	×	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
17.18	-0.16	×	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
18.88	-0.23	×	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
17.71	-0.27	×	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
17.44	-0.21	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
18.00	-0.41	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

図-16 イシモズク 生殖影響要因 24 項目

領域名	着生期間	育成期間		着生期間		着生期間		着生期間		着生期間		結果	
		日照時間 (h)	水温 (℃)	着生面積 (m <sup>2</sup> )	水揚げ量 (kg)								
全域	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
柏崎	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
東の輪	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
出雲崎	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

図-17 重要要素 9 項目

が分かった以上から、柏崎港などの平均的な漁獲量が分かっているため、漁獲量の推移から大まかではあるが異常の有無を確認することが出来ることが分かった。更に詳細に把握するには、着生面積または湿重量を検討することで可能である。

今後影響度を数値化することでイシモズクを指標とすることが可能になると考えられる。

### 5. まとめ

- イシモズクを指標とする前段階の研究を行なった
- 現地調査を行いイシモズクの生殖状況、生殖場所を把握した
- イシモズクの生殖状況の変化を地形変化、水温、波浪、日照時間、濁度から検討した。
- 造波実験を行い、藻場海底に影響ある波高を推定した
- 5 項目を検討した結果、着生面積と湿重量 (成長度) に変化を及ぼす条件がわかった
- 漁獲量は着生面積と湿重量の変化要因を両方併せ持つものである
- 生殖に変化を及ぼす条件がわかったため、漁獲量、着生面積、湿重量をみるとどこに異常が生じているのか把握できると考えられる

### 6. 今後の課題

本研究では河川流量が増大したり降水量が増大した時は土砂が増大して透明度が低くなると想定したが、濁度そのものを調査海域で実際に計測することでもう少し的確な検討を行なえると考えられるため、今後は実際に濁度を計測する必要がある。

また、今後指標としての精度を上昇させるために現地調査で得た着生面積、湿重量および、聞き取り調査で得た漁獲量の各種データを蓄積していく必要がある。

### 参考文献

- 1) 山本圭吾, 西垣友和, 遠藤 光, 竹野功璽: 若狭湾西部海域におけるイシモズクの着生時期 (2009)、京都府立海洋センター研究報告。
- 2) 株式会社キタック: 柏崎港改修 (地方) 事業藻場調査業務委託 (2008~2012)
- 3) 荒久 幸, 松 生治: 褐藻類ワカメ・カジメ遊走子の着生と成長、生残および成熟に及ぼす海底堆積粒子の影響 (1991 年 5 月 7 日 受付)
- 4) 犬飼直之、廣川渉: 地球温暖化が日本海の流況へおよぼす影響について、土木学会、土木学会関東支部新潟海研究調査発表会論文集、第 31 巻、pp.104 - 107、2013

- 5) 新潟県、東京電力株式会社「柏崎刈羽原子力発電所  
温排水等漁業調査結果報告」(平成 6 から 14 年)
- 6) 三重県庁ホームページ  
( <http://www.pref.mie.jp/SUIKIBSN/plan/moba/Note/Note2.html>)
- 7) 今井龍雄(1981)「標準原色図鑑全集/第 15 巻」、(株)  
保育社
- 8) 堀輝三 (1993)「藻類の生活史集大成 第 2 巻 褐  
藻・紅藻類」
- 9) 新潟県柏崎土木事務所 (1995)「柏崎マリーナ周辺  
イシモズク現存量調査」
- 10) 新潟県柏崎土木事務所 (1996)「柏崎地方港湾改修  
{鯨波地区}藻場調査」
- 11) 新潟県柏崎土木事務所 (1997~2000)「柏崎地方港  
湾改修 {鯨波地区}藻場調査」
- 12) 新潟県柏崎土木事務所 (2001)「柏崎地方港湾改修  
{鯨波地区}藻場調査」
- 13) 新潟県柏崎土木事務所 (2002)「平成 14 年度 地方  
港湾改修事業 藻場調査業務委託 報告書」
- 14) 新潟県柏崎土木事務所 (2003)「地方港湾改修事業  
藻場調査業務委託 報告書」
- 15) 新潟県柏崎土木事務所 (2004)「地方港湾改修事業  
藻場調査業務委託 報告書」
- 16) 新潟県柏崎土木事務所 (2005)「地方港湾改修事業  
藻場調査業務委託 報告書」
- 17) 新潟県漁業調整規則(昭和 39 年 9 月 10 日 新潟県  
規則第 67 号、改正 昭和 54 年 12 月 28 日 規則  
77 号)
- 18) 新潟県柏崎地域振興局、(株)日本港湾コンサルタ  
ント (2005~2006)「柏崎港地方港湾改修 気象海  
象資料整理業務委託【風・潮位・波高】」
- 19) 新潟県柏崎地域振興局 (2006)「地方港湾改修事業  
藻場調査業務委託 報告書」
- 20) 新潟県柏崎地域振興局、(株)アイテック「平成 19  
年度 柏崎港地方港湾改修 深浅測量業務委託  
報告書」
- 21) 新潟県柏崎地域振興局、(株)アイテック「平成 19  
年度 柏崎港地方港湾改修 深浅測量業務調査  
報告書」