

宮城県北部沿岸における2015～2017年のキタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* の分布状況からみた個体密度管理

田邊 徹*1, 澁谷 和明*2, 庄子 充広*1, 押野 明夫*1, 石川 哲郎*3

Regulation of Population Density Suggested by Changes in distribution of sea urchin *Strongylocentrotus nudus* in the North coast of Miyagi prefecture from 2015 to 2017

Toru TANABE*1, Kazuaki SHIBUYA*2, Michihiro SHOJI*1, Akio OSHINO*1 and Tetsuroh ISHIKAWA*3

キーワード：キタムラサキウニ, 東日本大震災, 個体密度, 藻場衰退

キタムラサキウニ, *Strongylocentrotus nudus*, は北日本沿岸に生息し¹⁾, 宮城県沿岸では磯根資源として, 非常に重要な漁獲対象である。東日本大震災における津波により宮城県沿岸の環境は大きく影響を受け, 一部の調査点では, 震災直後にキタムラサキウニの密度が減少するなど津波の影響が確認されている^{2,3)}。

田邊らは, 宮城県沿岸における震災後のキタムラサキウニの密度の推移について, 多くの地点で震災前よりも低下したこと, そして, その後一部の漁場では震災前の密度を超えて増加したキタムラサキウニの摂食圧を原因とする海藻群落の衰退が生じていることを報告している⁴⁾。

震災後のキタムラサキウニの分布密度の増加は, 震災後に発生した個体の加入と津波により散逸した個体の増集が要因として考えられているが^{2,3)}, 年齢などに基づく発生状況の詳細は明らかになっていない。

本研究では, 震災後の本県北部沿岸におけるキタムラサキウニの発生状況の推移を把握することを目的とし, 県内の北部海域3漁場において, 3カ年間のキタムラサキ

ウニの分布調査等を行い, キタムラサキウニの年級群組成, 殻径組成, 生殖巣の充実状況や密度等について検討を行い, 震災後の発生状況の変遷について考察した。

試料と方法

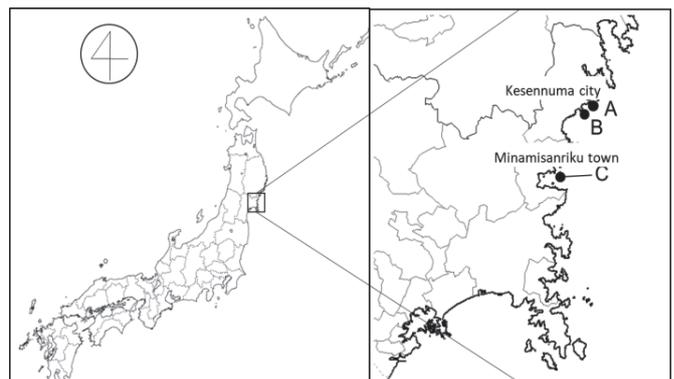


図1 調査漁場の位置図
漁場 A は既報⁴⁾の調査点 B, 漁場 B は既報⁴⁾の調査点 C, 漁場 C は既報⁴⁾の調査点 E に相当する。

*1水産技術総合センター気仙沼水産試験場, *2仙台地方振興事務所水産漁港部, *3農林水産部水産業基盤整備課

宮城県北部沿岸の3漁場を調査漁場とした(図1)。

調査は、2015年から2017年の3カ年間何れも7月最終週から8月1週目の間に行った。調査方法は、既報⁴⁾と同様にライントランセクト法とした。すなわち、岸側から沖側にかけて起点及び終点をGPSにより決めた100mのラインを設置し潜水によりライン上の両側各1m、計200m²に生息しているキタムラサキウニを計数し密度(個体/m²)を求めた。併せてこのライン周辺の海藻群落の状況について観察を行った。また、この100mラインにおいて10mごとに無作為に10個体程度を採取し、殻径、生殖巣重量等を計測するとともに生殖盤及び口器中間骨を採取した。なお、2015年の調査結果の一部は既報⁴⁾により報告している。

生殖盤及び口器中間骨の輪紋数からの年齢査定は既報に従った⁵⁾。なお、本試験では、生殖盤については、細目の砥石により表面を研磨後、口器中間骨については有効塩素濃度3%程度の次亜塩素酸ナトリウムに数分間浸漬し表面タンパク質等を除去後、それぞれ電熱線を用いて輪紋が確認できる程度に加熱し、エタノールに透徹することで輪紋を可視化し、実体顕微鏡下で暗帯数を計数した。年級群比較については、キタムラサキウニの発生年を暗帯数により算出し、起算日を9月1日とし、満年齢により比較を行った。

また、計測した個体データについて、それぞれの漁場ごとに比較したほか、各漁場で100mラインの岸より0~30m、中間の30~60m、沖側の60~100mの3区間をそれぞれ1つの調査点とし、1漁場につき3調査点、計9調査点の60または80m²について分布密度、現存量と生殖巣指数の関係を年ごとに解析した。なお、現存量は、区間の密度にその区間のキタムラサキウニの平均重量を乗じて算出した。なお、生殖巣の充実度による品質の評価については、生殖巣指数15%を目安とした。

何れの相関関係についてもピアソンの積率相関係数により解析を行った。また、各漁場における年度別の殻径と年齢について線形回帰を行い、その傾きにより成長の状況を考察した。

結果

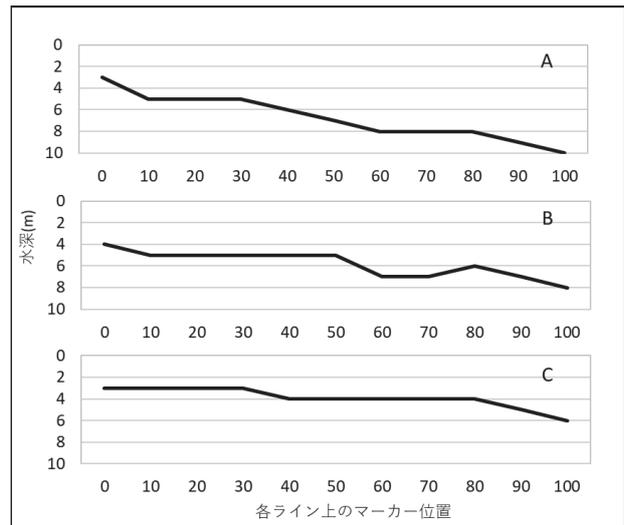


図2 各漁場で設置したラインにおける水深の推移

表1 各漁場の環境観察結果

漁場	調査年度	観察結果
底質環境 (ライン設置水深)		
A 岩盤 (3~10m)	2015	水深3m程度まで海藻群落が衰退、以深では無節サンゴモ群落 が優占。
	2016	水深3m程度まで海藻群落が衰退、以深では無節サンゴモ群落 が優占。
	2017	周辺の根の頂上のみ海藻が残存、ライン上では海藻群落が見られ ず、無節サンゴモ群落が優占。
B 岩盤 (4~8m)	2015	水深5m程度まで濃密なアラメ群落、7~8m程度まで小型の海藻 群落、以深では無節サンゴモ群落が優占。
	2016	水深5m程度まで濃密なアラメ群落、7~8m程度まで小型の海藻 群落、以深では無節サンゴモ群落が優占。
	2017	アラメ群落は水深3m程度まで衰退、小型の海藻群落も衰退し、 以深は無節サンゴモ群落が優占。
C 岩盤及び転石 (3~6m)	2015	水深3m程度まで海藻群落が衰退、以深では無節サンゴモ群落 が優占。
	2016	ライン上では海藻群落が見られない。周辺では海藻群落は波打ち 際まで衰退、無節サンゴモ群落が優占。
	2017	ライン上では+B6:H11海藻群落が見られない。周辺では海藻群落 は波打ち際まで衰退、無節サンゴモ群落が優占。

各漁場に設置したラインにおける水深の推移を図2に示した。漁場Aは岸に最も近い起点付近で水深3m、最も深い沖側の終点で10m、底質は岩盤であった。漁場Bは同様に水深4~8mで底質は岩盤、漁場Cは水深3~6mで底質は岸側から水深3m程度まで岩盤で、以深は転石であった。各ライン周辺における海藻群落の状況を表1に示した。漁場Aでは2015年及び2016年には水深3m程度まで海藻群落が確認されたが、2017年には海藻群落が確認されたのはライン近傍の根の頂上のみであった。漁場Bは2015及び2016年は水深5m程度まで濃密なアラメの群落

であり、また水深7～8m程度まで一部に小型の海藻群落
が確認されたが、2017年はいずれも衰退していた。漁場
Cでは2015年は水深3m程度まで海藻群落が確認された
が、2016及び2017年についてはライン上では海藻群落は
確認されず、何れも無節サンゴモが優占していた。

年を下回る4.1個体/m²であった。

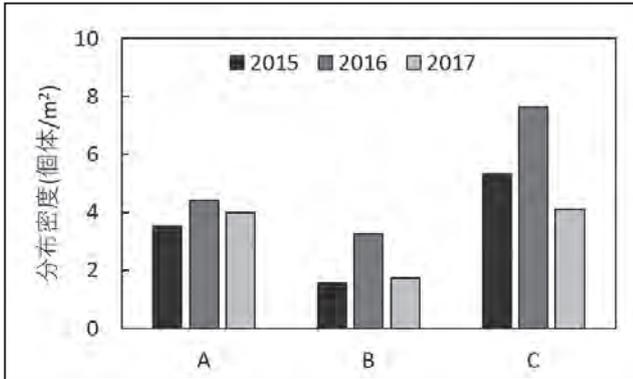


図 3 各漁場における 2015～2017 年のキタムラサキウニ平均分布密度(個体/m²)

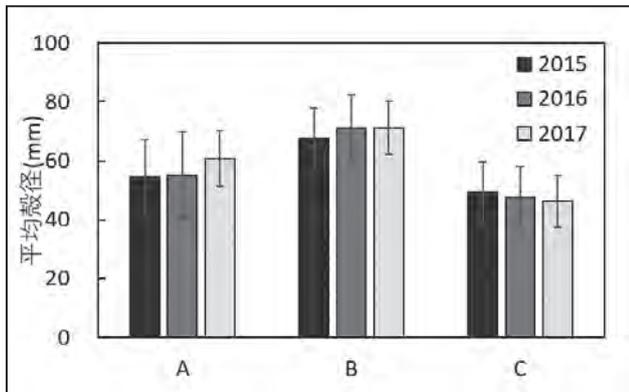


図 4 各漁場における 2015～2017 年のキタムラサキウニ平均殻径(mm±SD)

年ごと漁場ごとのキタムラサキウニの、分布密度を図3
に示した。漁場Aは3.5～4.4個体/m²と年による大きな変
動は確認されなかった。漁場Bでは、2016年に3.3個体/m²
であったが、2015及び2017年は1.6個体/m²前後であった。
調査期間を通じて最も高い密度であった漁場Cでは、
2015年は5.3個体/m²、翌年は7.6個体/m²、2017年は2015

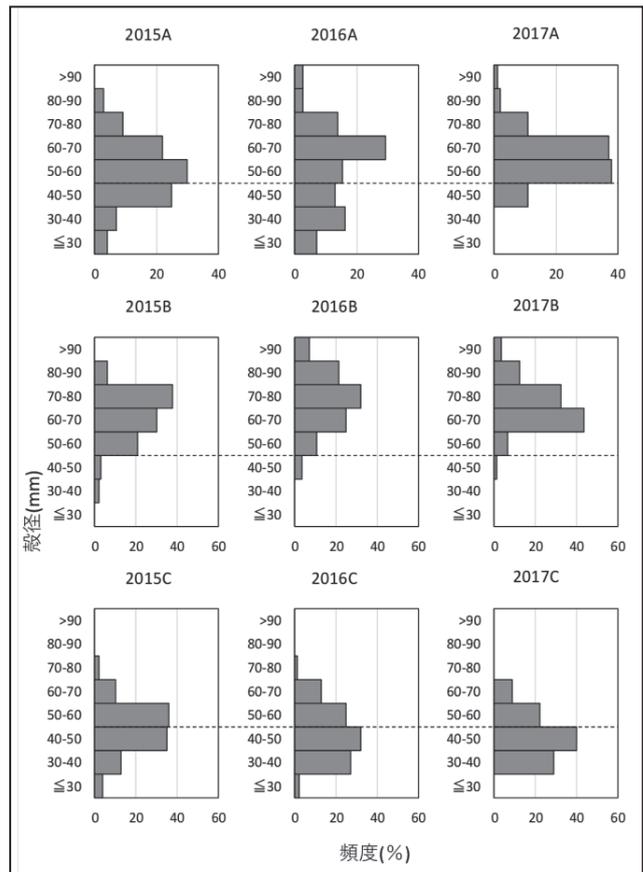


図 5 各漁場における 2015～2017 年のキタムラサキウニ殻径分布
破線は殻径 50mm を示す。

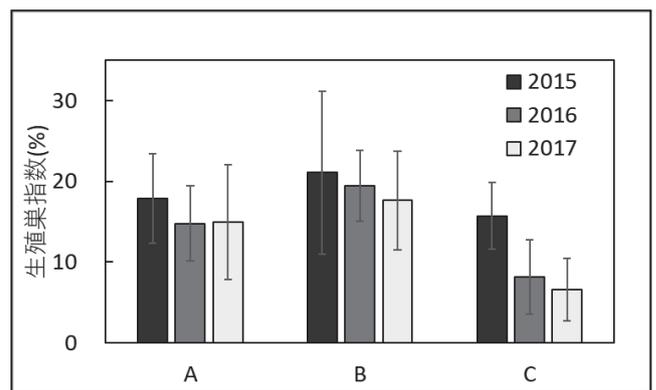


図 6 各漁場における 2015～2017 年のキタムラサキウニ平均生殖巣指数(%±SD)

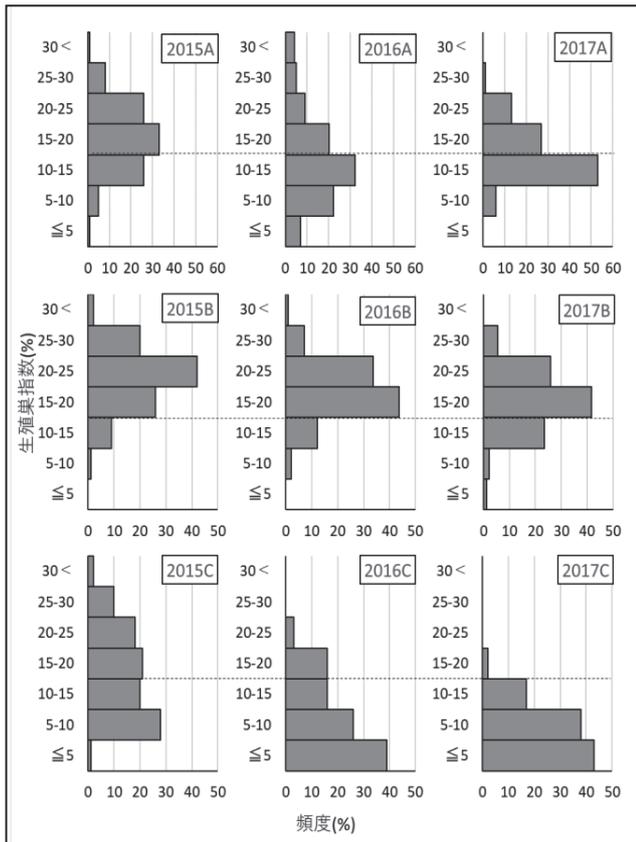


図7 各漁場におけるキタムラサキウニ生殖巣指数の分布
破線は15%を示す。

年ごと漁場ごとのキタムラサキウニの平均殻径を図4に示した。年ごとの値については2015年以降漁場A及びBではやや大きくなり、漁場Cではやや小さくなる傾向にあった。また、何れの年においても漁場Bが最も平均殻径が大きく、次いで漁場A、漁場Cの順に小さい傾向にあった。年ごと漁場ごとの殻径組成を図5に示した。漁場Aでは期間を通して概ね50~70mmにモードがあり、2015年には90mmを超える階級が確認されなかったが、2016年にはすべての階級で分布が確認された。しかし、2017年には40mm以下の個体は採取されず、また90mmを超える個体が確認された。漁場Bでは、2015年、2016年は70~80mmに、2017年は60~70mmにモードが確認された。漁場Cでは2015年には50~60mmにモードがあったが、2016年及び2017年には40~50mmにモードがあり、

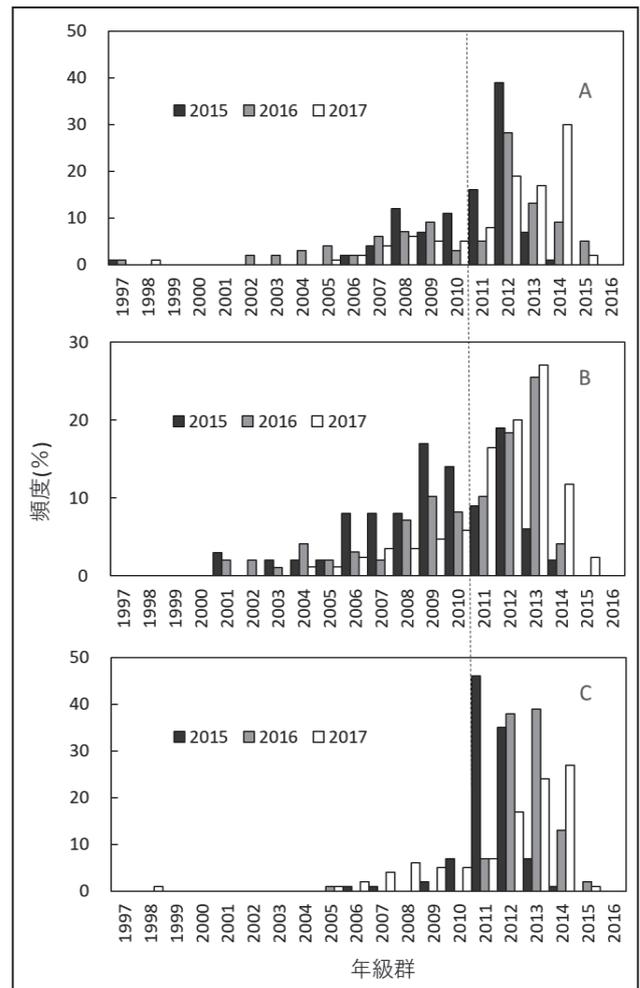


図8 各漁場における2015~2017年のキタムラサキウニ年級群頻度分布
破線は2011年を示す。

他の2地点と比較すると期間を通して小型個体の割合が多い傾向にあった。また、漁場A及びBでは半分以上の個体が50mmを超えていたのに対して、漁場Cでは半分以上が50mmを下回り、特に近年小型のウニの割合が高くなる傾向にあった。なお、全てのサンプルにおいて最も大きな個体は殻径104.7mm、最も小さな個体は19.0mmであった。年ごと漁場ごとの平均生殖巣指数を図6に示した。生殖巣指数は期間を通して同一年度であれば漁場Bで最も高い傾向にあり、次いで漁場A、漁場Cであった。何れの漁場も2015年に最も高く、漁場Aでは2016年及び2017年は同程度、漁場Bでは2016年、2017年と低下したが、概ね15%前後よりも高かった。一方、漁場Cでは2015年は約15%であったが、2016年、2017年と減少し、2017年は5%前後と低い値であった。生殖巣指数の各調査点の

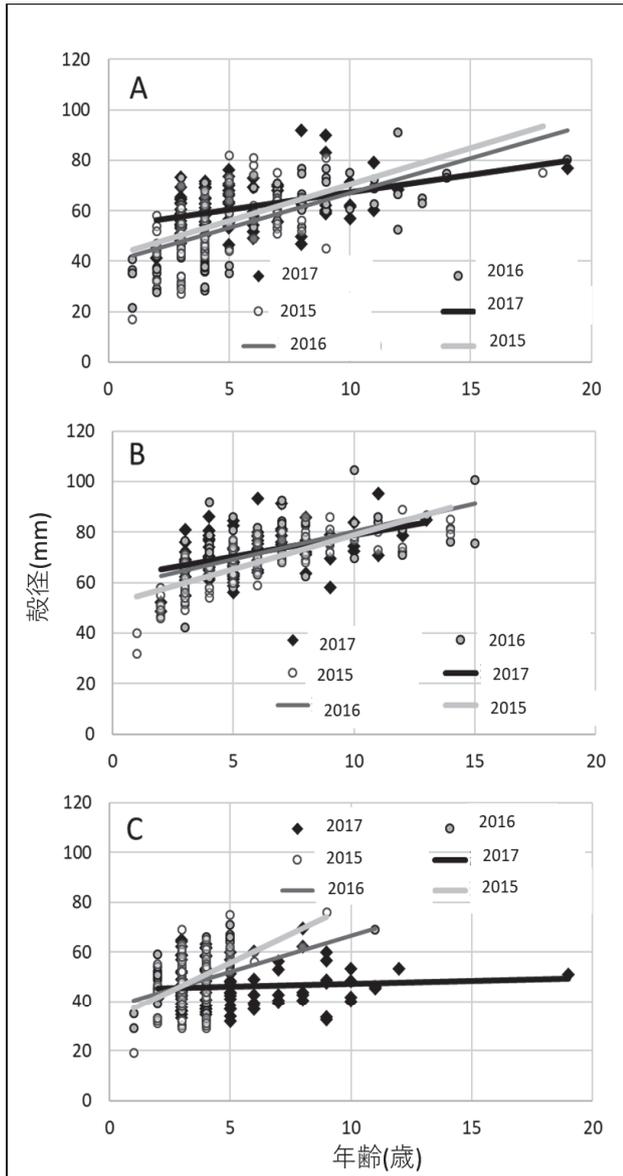


図9 各漁場におけるキタムラサキウニの年齢と殻径の関係

A: 漁場A(2015: $r=0.51$, $p<0.01$, 2016: $r=0.67$, $p<0.01$, 2017: $r=0.40$, $p<0.01$)

B: 漁場B(2015: $r=0.76$, $p<0.01$, 2016: $r=0.63$, $p<0.01$, 2017: $r=0.44$, $p<0.01$)

C: 漁場C(2015: $r=0.49$, $p<0.01$, 2016: $r=0.32$, $p<0.01$, 2017: $r=0.07$, $p>0.05$)

年度別の分布を図7に示した。漁場Aでは、2015年には多くの個体で15%を超えていたのに対し、2016年以降は15%を下回る個体も多く確認された。漁場Bでは何れの年においても15%を超える個体の割合が多くを占めた。

しかし、2015年は20～25%にモードが確認されたが、2016年以降はモードが1階級下がり、また15%以下の割合も増加する傾向が見られた。漁場Cでは2015年は生殖巣指数が15%を超える個体も半分程度見られ、30%を超える個体もあった。しかし2016及び2017年と明らかに生殖巣指数の分布は低い値が占めるようになり、2017年にはほとんどの個体で15%を下回った。

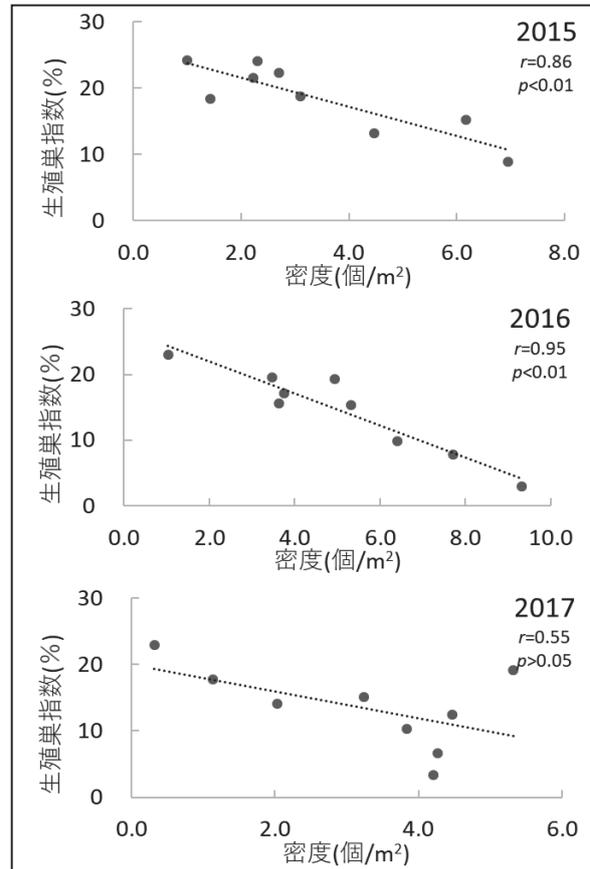


図10 2015～2017年における全調査点のキタムラサキウニの密度(個体/m²)と生殖巣指数(%)の関係

年ごと漁場ごとの年級群組成について、図8に示した。漁場Aでは2015年及び2016年は2012年級に、2017年は2014年級にモードがあった。漁場Bでは、2015年では2012年級に、2016及び2017年では2013年級にモードがあった。漁場A及び漁場Bで2015年にモードがあった2012年級は、2017年でも2番目に高い割合で確認された。漁場Cでは2015年では2011年級に、2016年は2013年級に、2017年は2014年級にモードがあった。2015年の調査で主群となった2011年級は2016及び2017年では割合が低

下した。震災前に発生した年級群の割合は、漁場A及びBでは2015年ではそれぞれ約40%及び約60%を占めていたが、直近にかけて低下し、2017年では何れも約20%であった。漁場Cでは2015年では震災前に発生した年級群の割合は10%程度であったが、2016年では1%、2017年の調査では約20%であった。年齢と殻径の関係を図9に示した。漁場Cの2017年では有意な相関が確認されなかったが($p>0.05$)、その他の漁場及び調査年では何れも有意な正の相関が確認された($p<0.01$)。しかし、回帰式の傾きは調査点及び年により異なっており、総じて2015年から2017年にかけて傾きが小さくなる傾向にあった。

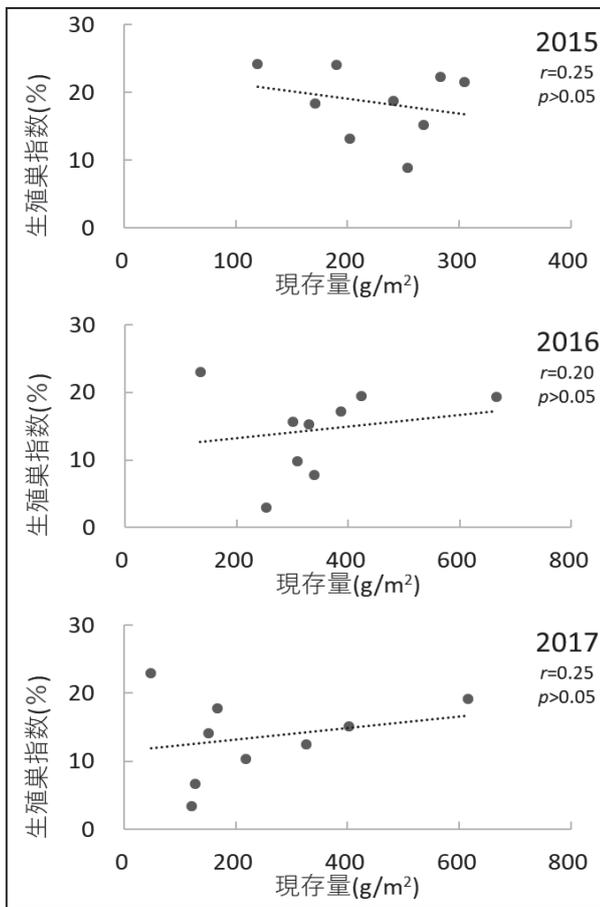


図 11 2015～2017年における全調査点のキタムラサキウニの現存量(g/m^2)と生殖巣指数(%)の関係

各調査年における全調査地点の個体数密度と生殖巣指数の関係について図10に示した。2015年、2016年については何れも生殖巣指数と分布密度とは有意な負の相関が

確認された($p<0.01$)。一方、2017年については、何れも有意な相関は確認されなかった($p>0.01$)。各調査年における全調査地点の現存量と生殖巣指数の関係について図11に示した。現存量と生殖巣指数では何れの調査年においても有意な相関は確認されなかった($p>0.05$)。

考 察

1 海藻群落の推移と殻径及び生殖巣指数

キタムラサキウニの分布密度は調査点により大きく異なっており、同一年の調査であれば3地点の中では漁場Cは高密度、Bは比較的低く、漁場Aはその中間程度の傾向を示した。田邊らは、東日本大震災から2015年までの調査結果で、漁場A及びCで海藻群落の衰退を報告している⁴⁾。また、漁場Cと同一の湾の別の地点で、近年の海藻群落の衰退が報告されている⁶⁾。今回の調査については、2016年及び2017年についても漁場Cでは海藻群落が大きく衰退しており、また漁場Aでも海藻群落の衰退が見られている。海藻群落の衰退が著しい漁場Cでは、この3年間では回復の兆しは確認されず、群落は波打ち際まで衰退していた。

平均殻径は漁場Bが最も大きく、次いで漁場A、漁場Cとなった。キタムラサキウニの成長や生殖巣の量的発達には、生息場所の食物条件によって左右され、生息環境としてアラメ海中林と無節サンゴ藻群落で年間成長量に差があることが知られている⁷⁾。今回確認された平均殻径の漁場間の差異は、既報⁷⁾の海藻群落と成長の関係と良く一致していたことから、漁場間の食物条件となる海藻群落の状況を反映しているものと推察された。

本県のキタムラサキウニでは概ね8月に生殖巣指数が最も高く⁷⁾、本調査における生殖巣指数は各漁場におけるその年の最大値を概ね示しているものと考えられる。生殖巣指数の平均値は2015年と比較し何れの漁場でも2016及び2017年で低下傾向にあった。キタムラサキウニは生殖巣指数で15%程度あれば、商品価値が期待できる。漁場Bでは調査期間を通じて生殖巣指数の平均値は15%を上回った。漁場A及びCにおいても2015年は平均値で15%を超えた。しかし、2016年及び2017年の、漁場A及びCの平均生殖巣指数は15%を下回っており、利用が困難であり、いわゆる身入りの悪いウニといわれるもので

ある。特に漁場Cでは2016年及び2017年に何れも平均生殖巣指数が10%を下回り、商品価値はほとんど見込めないものと考えられる。生殖巣指数についても成長と同様に、アラメ海中林中のものよりも無節サンゴ藻群落中のものが周年低い傾向にあるとのことから⁷⁾、これについても漁場間の食物条件の違いを反映しているものと推察される。

2 年齢と殻径との関係

本研究で得られた年齢と殻径の回帰式における傾きは、何れの漁場においても2015、2016、2017年と年を追うごとに低下する傾向にあり、年間の成長量が低下傾向にあると考えられる。特に著しい海藻群落の衰退が見られた漁場Cでは、2017年の結果では傾きは極めて小さく、相関分析でも正の有意な相関が見られず、ほぼ成長が見込めない状況であったと考えられる。また、漁場Cだけではなく、2017年には根の頂上のみしか群落が残存しない漁場Aや、浅所まで後退しつつある漁場Bでも、同様に傾きが低下していたことから、これらの漁場でも餌料条件が悪化する方向に向かっている可能性がある。

3 年級群組成の推移

田邊らは、震災後から2015年までの各調査点におけるキタムラサキウニの密度の推移を報告している⁴⁾。漁場Aは、田邊らの報告では2011年9-11月の調査で1.5個体/m²程度であったが、翌2012年の9-11月の調査では3個体/m²程度まで増加した。漁場Bについては、2011年9-11月の調査では1個体/m²程度であったが、翌2012年9-11月以降は1.5個体/m²前後まで増加し、以後は1.5個体/m²～3個体/m²で推移した。漁場Cでは、2012年12月-2013年1月の調査以降は3個体/m²を大きく超える密度で推移していた。本研究の2015年の年級群組成からみると、漁場A及びBではそれぞれ約40%及び約60%が震災前の年級群であったのに対し、漁場Cではその割合が約10%と他の2漁場よりも低かった。これらのことから、震災以降1年半程度経過した後に何れの地点でもキタムラサキウニ密度の増加が見られていた現象は、漁場A及びBでは津波によって散逸したキタムラサキウニが再び蟄集したことによる増加であり、漁場Cでは2011年級群の加入を主体とする密度増加であったと考えられる。これは、殻径組成などからすでに推定されていたものではあるが^{2,4)}、改めて年齢組成を確認することによって示したものとして意義深

い。

2016年以降、漁場A及びBでは震災前の年級群の割合は低下傾向にあり、震災後の年級群が徐々に多数を占めてきている状況にあり、世代交代が進みつつあるものと考えられる。一方、漁場Cでは2016年までは震災後に発生した年級群が大多数を占めていたにも関わらず、2017年の調査では、逆に震災前の年級群の割合が多くなり、年級群組成に大きな変化が見られた。漁場Cでは震災後最大で10個体/m²を超えていた分布密度が⁴⁾、2015～2017年の調査期間中、最も高かった2016年で最多時のおよそ半分、2017年は最多時の3分の1程度まで減少しており、漁場Cとしては個体密度が減少傾向にあると考えられる。2017年の調査で震災前の年級群の割合が増加し、震災後の年級群の割合が低下したことは、少なくとも直近の分布密度の減少の要因の一つは、震災後に加入した若齢個体の減少によるものと推察される。漁場A及びBでは2015年の結果で最も割合の高かった2012年級群は、その後の調査でも比較的高い割合を維持し、大きな減少は見られなかったが、漁場Cでは震災後に加入した2011年級群の割合が2016及び2017年の調査では大きく低下しており、震災後の年級群に減少をもたらした要因については今後検討する必要がある。また、今後、海藻群落の衰退が著しいことから餌料環境の悪化により加入が減少する可能性も考えられる。

4 分布密度と殻径及び生殖巣

本研究では、2015及び2016年についてはキタムラサキウニの生殖巣と指数密度とは高い負の相関関係にあった。2017年には有意な相関が確認なかったものの、3個体/m²よりも密度が低い調査点では生殖巣指数は概ね15%を超えていた(図10)。このことから、概ね3個体/m²の密度を下回った地点ではキタムラサキウニの商品価値が期待できるものと考えられる。

それぞれの海域において海藻群落や流れ藻等により供給される餌料の量や種類やさらには地形や流況等局所的な環境条件には大きな違いがあることは容易に想像がつく。しかし、少なくとも本県の北部海域ではキタムラサキウニの生殖巣指数を向上し、利用価値を高めるために密度管理を検討する場合、3個体/m²は一つの目安となるだろう。

キタムラサキウニの現存量が200g/m²を超えた場合、

海藻群落に影響を及ぼすとの報告もあることから⁸⁾, 現存量と生殖巣指数の相関分析も行ったが, 本研究では何れの年においてもこれらの間には有意な相関が確認されなかった。以上より, 少なくとも本研究で確認できた最も小型の19.0mmを超えるキタムラサキウニでは, 現存量よりも個体密度を指標とした密度管理がキタムラサキウニの品質向上には有効である可能性が推察される。

5 今後の管理方法

漁場Cで海藻群落の衰退が見られ始めた時期は, 2013年と報告されている⁴⁾。2015年は海藻群落の衰退が見られ始めて2年目で平均生殖巣指数は15%前後であり, 一部のキタムラサキウニは商品価値が見込まれる15%を超えるものもあった。しかし, この地点では2016年以降平均生殖巣指数が低下し, 2017年にはほとんどすべての個体で商品価値が見込めないほど悪化した。

本研究では, 海藻群落の縮小が顕著となった2015年以降年齢と殻径の回帰式の傾きが小さくなる傾向にあり, 特に海藻群落の衰退が著しかった漁場Cでは2017年には年齢と殻径に有意な関係が見られなかったことから, その場所に生息しているキタムラサキウニの大きさについてもその環境の影響に非常に大きな影響を受けているものと考えられる。また, 本県の漁業調整規則では殻径50mm以下のキタムラサキウニは漁獲が認められておらず, 漁場Cではほとんどの個体でこの50mmを下回っていたことから, 大きさとしても商品価値が見込めないと考えられる。

このことから, 海藻群落の衰退が確認された場合, そ

れほど時間をおかずその海域のキタムラサキウニは商品価値が著しく低下するものと考えられる。このため, 海域のモニタリングなどでキタムラサキウニの増加が確認され, 生殖巣指数の低下や成長不良が確認された場合には, できるだけ早く対策を講じる必要があるだろう。キタムラサキウニは本県沿岸では, 重要な漁獲対象種として漁獲されてきた。しかし, 震災以降, 本県北部海域では, 漁獲されたキタムラサキウニを加工し販売していた加工業者らの被災により, 漁獲されたキタムラサキウニの利用が低下し, さらに開口回数や開口に参加する人数が減少し漁獲圧が低下している⁴⁾。このような状況に加え, 品質低下による商品価値の低下はさらにキタムラサキウニの漁獲圧を低下させ, キタムラサキウニ個体群密度が低下しづらい状況となることが推察される。磯焼け状態の海底で優占する無節サンゴ藻群落にはウニの着底を誘引する機構があり, ウニの摂食圧により浅所へ拡大した無節サンゴ藻群落の持続要因となることが指摘されており⁷⁾, キタムラサキウニの漁獲努力量の低下は磯焼け状態の維持を助長しているものと推察される。

また, 特に漁場Cのように大部分の個体が本県の漁業調整規則で採捕が認められていない50mmを下回る場所では通常の漁獲による個体密度管理は期待できない。従って, キタムラサキウニの密度が非常に高い状態となった漁場では, 磯焼け対策ガイドライン⁹⁾に示されているように, 潜水によりウニを物理的に潰し駆除する方法や, 回収を行い移植するなど, 積極的な密度管理を検討する必要があるだろう。

要 約

- 1) 2015~2017年に宮城県内北部3漁場においてキタムラサキウニの分布調査等を実施した。
- 2) 何れの漁場も海藻群落は縮小傾向にあり, 特に漁場Cでは波打ち際のみ海藻群落の残存が見られた
- 3) 年によるキタムラサキウニの分布密度に増減はあるが, 同じ調査年では密度が高い漁場C, 密度の低い漁場B, 中間程度の漁場Aとなり, 海藻群落の状況と一致していた。
- 4) 生殖巣指数についても直近にかけて低くなる傾向にあった。特に漁場Cは2017年にはほとんどの個体で商品価値が見込めない状態であった。
- 5) 密度の高い漁場では平均殻径は小さくなる傾向にあり, 2015年よりも直近にかけて小型化する傾向にあった。特に漁場Cではほとんどの個体が漁獲可能なサイズを下回り, また成長も期待できない状況であった。
- 6) 2015年には漁場A及びBでは震災前の年級群が多く確認され, 一方漁場Cでは震災以後の年級群が多く確認されたことから, 既報⁴⁾を年級群組成から支持する

結果となった。その後何れの漁場でも世代交代が進みつつあったが、漁場Cでは震災後に加入した年級群の割合が低下する現象が見られた。

- 7) 生殖巣指数は個体密度と負の相関を示し、概ね3個/m²を下回る調査点では漁獲可能なサイズでかつ商品価値が見込まれる生殖巣指数であった。
- 8) キタムラサキウニの密度が非常に高い状態となった漁場では、潜水によりウニを物理的に潰し駆除する方法や、回収を行い移植するなど、積極的な密度管理を検討する必要があるだろう。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、調査にご協力いただきました宮城県漁業協同組合気仙沼地区支所、大谷本吉支所及び志津川支所に感謝申し上げます。

この研究は水産庁補助事業である27年度漁場生産力向上対策事業、県単独事業である平成28、29年度被災漁場環境調査事業により実施しました。

参考文献

- 1) 岡田要, 内田清之助, 内田亨(2004)オオバフンウニ科, 復刻版新動物図鑑(下), 北隆館, 東京, 74.
- 2) Hideki TAKAMI, Nam-Il WON and Tomohiko KAWAMURA (2013) Impacts of the 2011 mega-earthquake and tsunami on abalone *Haliotis discus hannai* and sea urchin *Strongylocentrotus nudus* population on Oshika Peninsula, Miyagi. Japan. Fish. Oceanogr, 22: 113-120.
- 3) Tomohiko KAWAMURA, Hideki TAKAMI, Jun HAYAKAWA, Nam-Il WON, Daisuke MURAOKA and Yutaka KURITA (2014) Changes in abalone and sea urchin populations in rocky reef ecosystems on the Sanriku Coast damaged by the massive tsunami and other environmental changes associated with the Great East Japan Earthquake in 2011, Global Environmental Research, 18: 47-56
- 4) 田邊徹, 日下啓作, 中家浩, 石川哲郎, 鈴木金一, 伊藤博(2017)宮城県沿岸における震災後のキタムラサキウニの分布密度の推移について. 宮城水産研究報告書, 17 : 11-16
- 5) 田嶋健一郎(2004)中間骨からウニの年齢を読む. 北水試だより, 63, 11-14
- 6) 吾妻行雄, 青木優和, 遠藤光, 堀越彩香, 荒川久幸 (2016) 1-2-1 志津川湾岩礁生態系調査. 東北マリンサイエンス拠点形成事業(海洋生態系の調査研究)における課題「漁場環境の変化プロセスの解明」の成果報告書, 国立大学法人 東北大学, 学校法人 北里研究所, 39-44
- 7) 佐野稔, 大森迪夫, 谷口和也, 關哲夫. (1999)アラム海中林とキタムラサキウニの生活史. 磯焼けの機構と藻場修復, 水産学シリーズ 120, 谷口和也編, 恒星社厚生閣, 東京, 73-83
- 8) 菊池省吾, 浮永久 (1981) アワビ・ウニ類とコンブ類藻場との関係. 藻場・海中林, 水産学シリーズ 38, 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 9-23
- 9) 公益社団法人全国漁港漁場協会(2015)改定磯焼け対策ガイドライン, 公益社団法人全国漁港漁場協会, 東京.

