

生物写真シリーズ【クロマグロ】

現在、クロマグロの養殖に用いる種苗は、海で獲れた天然の稚魚が用いられていますが、独立行政法人水産総合研究センター奄美栽培漁業センターでは、クロマグロの増養殖の推進を図るため、親魚養成・種苗生産・放流等に関する基礎的な研究開発に取り組んでいます。

天然親魚(6歳250kg)①にサバやイカを与えて飼育し、生け簀内で産卵した受精卵(直径1mm)②を採集します。③は全長3mmの仔魚、④は全長15mmの後期仔魚、⑤は全長40mmの稚魚です。生け簀で飼育し、2歳⑥で体重40kg、4歳⑦で体重150kgに成長します。

CONTENTS 目次

栽培漁業公社紙上大学◆今月の講座…… 2～7
磯焼けの原因は何か

～羅臼の海からの現場報告
東北大学大学院客員教授 谷口和也
羅臼漁協栽培増殖部長 石亀正則
東北大学大学院准教授 吾妻行雄

浜のフレッシュマン☆森 貴宏さん…………… 8
おさかなとにらめっこ☆川井唯史 …………… 8

東北大学大学院農学研究科 客員教授 谷口和也
 羅臼漁業協同組合 栽培増殖部長 石亀正則
 東北大学大学院農学研究科 准教授 吾妻行雄

今月の 講座

磯焼けの原因は何か ～羅臼の海からの現場報告

羅臼は、羅臼昆布とよばれるオニコンブの産地です。1902年に札幌農学校の宮部金吾先生が北海道産コンブの分類から漁業実態までを集大成された名著「北海道水産調査報告」の中で、羅臼産のコンブに鬼を意味するラテン語ディアポリカをつけてオニコンブと命名されました。この場合鬼とは、大きい、立派だ、凄い、といった意味です。葉幅が25～46cmでマコンブの仲間とは到底思えないほど非常に幅広く大きく、肉厚で、噛みしめるほど濃厚な深い味わいが口の中に広がり、本当においしいと思います。オニコンブは、日本が世界に誇る正に凄い食品なのです。

オニコンブの生産は、現在危機に瀕しています。羅臼の豊かな海に磯焼けが発生していると言うの

です。羅臼で何が起きているのか、私たちは頭を突き合わせて懸命に考えました。実際にはEメールを使って頻りに意見交換を行ったのですが、以下に、私たちの議論の結果をお伝えします。ご感想とご意見をいただければ大変嬉しく思います。

羅臼の海藻群落

1990年代前半まで流氷が毎年接岸していた頃には、水深3m位、時には最大6mまで流氷によって海底から海藻が削り取られてあまり生育できませんでした。しかし、流氷の影響がない水深3mないし6mより深い場所にはオニコンブをはじめアツバミスジコンブ、カラフトロココンブなどが大量に生育していました(図1)。1970

年代に実施された北大理学部と道立釧路水産試験場との共同調査によれば、海底は無節サンゴモで覆われる磯焼けのような状態も認められたと言います。しかし当時は、無節サンゴモが海底を覆っていたとしても、オニコンブなどの生育には何の問題もありませんでした。羅臼昆布漁業は安泰でした。

2000年代に入って流氷があまり接岸なくなると、オニコンブなどは著しく減少し、それらに代わって小形海藻(図2)やヒバマタ類が増加しました(図3)。また、直立する海藻は減少し、無節サンゴモが覆う海底が目立つようになりました。そして、無節サンゴモが覆う海底にはオニコンブなどはあまり生育しなくなりました。

それに対して、水深0～3mの



図1 1990年代前半の羅臼沿岸水深3～5mの海底。オニコンブなどが良好に生育している。



図2 2000年代前半の種々の小形海藻が生育し、コンブが見られなくなった羅臼の海底。

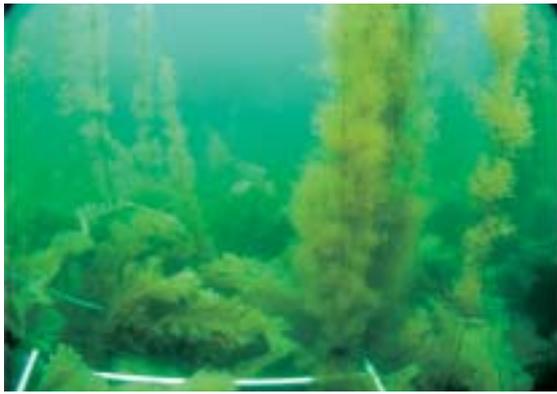


図3 2000年代前半のヒバマタ目褐藻(ホンダワラ類)が優占する羅臼の海底。



図4 2008年3月に羅臼に接岸した流氷。

浅所では流氷があまり接岸しなくなったことによりオニコンブが生育するようになりました。最近の例を紹介しましょう。2008年には流氷が久し振りに接岸しました(図4)。その結果、2009年にはオニコンブが見事に繁茂しました(図5)。流氷の接岸と、おそらく2007年秋から冬に発生した時化による海底の攪乱、つまり磯掃除の効果であると考えられます。しかし、浅所に繁茂したオニコンブを手放しで喜ぶわけにはいきません。オニコンブは、やはり水深3mより深い場所に大きく、厚く、おいしい2年生の個体として育ててもらいたいと思うのです。

羅臼のウニ

1990年代以前には、エゾバフ

ンウニの密度は現在より高かったようです(図6)。しかも漁獲可能な大型個体が高い比率で生息していました。さらに毎年順調に新しい発生群が加入し、漁獲を続けていても資源的には何の問題もありませんでした。ウニの主要な食物であるオニコンブなどの褐藻が豊富に生育していたためであると思います。しかし現在では、小型個体の密度が著しく高くなり、漁獲対象となる大型個体の密度が低下しました。コンブ類が著しく減少しているため、少ないコンブをウニが食べてさらに減少させ、無節サンゴモが覆う海底が増える悪循環に陥っている恐れがあります。

現在、さらに憂慮される事態が起こっています。羅臼に生息していなかったキタムラサキウニが突

然出現したのです(図6)。2008年に調査した結果、キタムラサキウニは平均殻径55mm、平均密度10個体/m²でした。20個体以上の場所もありました。この密度は非常に高い水準です。ウニの殻のてっぺんに肛門があります。肛門のそばに卵や精子を放出する生殖板があり、生殖板には年輪が刻まれています。採集したウニの年輪を読むと、満5歳の個体が77%も占めました。キタムラサキウニは知床半島の先端に向かうにつれて密度が高くなり、反対側のウト口では羅臼より密度が高いと言います。こうした事実から、対馬暖流の勢力が強まったことによってキタムラサキウニが2002年に大量に発生し、オホーツク海側から羅臼へ分布を拡大したと考えられます。



図5 2009年4月の羅臼沿岸。オニコンブが水深0~3mに大量に生育した。



図6 羅臼沿岸水深5mに生息する棘が短いエゾバフンウニと新たに分布した色が黒く、棘が長いキタムラサキウニ。2007年9月に撮影。

磯焼けの原因

羅臼の海では、磯焼けと考えられるほどにコンブが減少し、無節サンゴモが優占する海底が目立つようになりました。そして、小型のエゾバフンウニが顕著に増加、加えて知床半島を越えてキタムラサキウニが定着しました。そのためか、「磯焼けの原因はウニの食害である」と語られ始めました。ここでは、ウニの食害を検討するために磯焼けの原因を考えてみたいと思います。

コンブ、ヒバマタ類、無節サンゴモ、ウニなどは沿岸の岩礁海底に生活する生物です。岩礁域に生活する多くの生物とともに、固有の生物社会を構成しています。私たちは森林、河川、湖沼、干潟、岩礁などその場所固有に形成される生物社会を、環境を含めて生態系と呼びます(図7)。太陽エネルギーを用いて光合成を行い、二酸化炭素・水・窒素などの無機物から有機物を作って生きる植物を生産者、植物と他の動物などを食べて生きるヒトを含めた動物を消費者、それらを分解して栄養を吸収し、元の無機物へもどすカビやキノコの仲間の菌(真菌ともいいます)と細菌

を分解者(または還元者ともいいます)とよびます。生態系は、生産者が無機物から有機物を生産し、消費者が有機物を消費し、分解者が生産者と消費者の作り上げた有機物を再び無機物へ戻して物質を循環さ

せることによって成り立っています。岩礁生態系では、生産者は海藻、消費者はウニやアワビなど、分解者は目立たない菌と細菌です。岩礁生態系の環境は、硬い安定な海底、常に流動し、窒素やリンなど栄養塩を含む海水、降り注ぐ太陽光です。海水の流動と光は、水深ともなって急激に減衰します。そして、海水の温度は時間、日、季節、年によって変化します。気温や雨風など気象の影響も重要です。

表1に磯焼けの原因を示しました。磯焼けは、生産者であるコンブやヒバマタ類の海中林が浅所に縮小し、無節サンゴモ群落となることによって認識されます。海中林が縮小し、磯焼けとなる環境変化は、生物にとっては必然的な岩礁生態系の環境変化と生物にとって

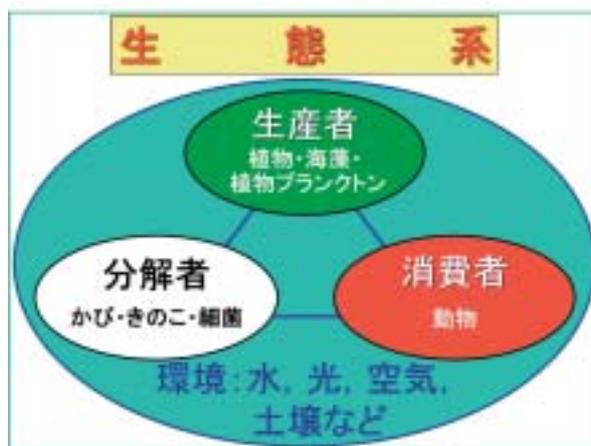


図7 生態系概念。

は偶然な環境変化とに分けて理解する必要があります。陸上の道路やダム建設、住宅地・ゴルフ場やスキー場の造成など森林伐採をとまなう大規模開発は、海域に大量の淡水と濁水・土砂を流入させます。鉱山と工場の排水は、海水を汚濁します。これら人間活動の影響は生物にとっては事故にあうような偶然の要因です。人間自身の手で原因を取り除けば、海中林は回復するのです。同様に、自然現象であっても津波、火山爆発、洪水、例外的な激浪や大雨など一時的、激越な環境変化は予測不可能で、生物にとっては遭難に等しい偶然の要因です。海中林へ壊滅的な打撃を与えますが、環境が元に戻れば海中林も回復します。

水温、栄養塩の濃度、波高は長期データにもとづく平均値と偏差から変化が定量的に把握でき、予測可能です。磯焼けは高水温・貧栄養の海況で海中林が深所から衰退し、浅所へ縮小することによって発生すると考えられます。具体例を紹介しましょう。磯焼けという言葉の発祥地である伊豆半島東岸では、1880年から1980年まで100年間の水温、アワビ漁獲量、

表1 磯焼けの原因

I. 岩礁生態系の環境変化	
1. 海況変化	高水温、貧栄養、激波浪
2. 生物群集の変化	ウニの食害(無節サンゴモ型動物)、植食魚類の食害(地球温暖化の影響)、無節サンゴモの着生阻害
II. 偶発的な環境変化	
1. 一時的、激越な環境変化	津波、火山爆発、例外的な大時化・洪水など
2. 人間活動による破壊	海水汚濁、淡水・濁水(無機懸濁粒子)・土砂の流入、漂砂、鉱山・工場排水、重油流出、生活排水と界面活性剤の流入(?), 農薬の流入(?)

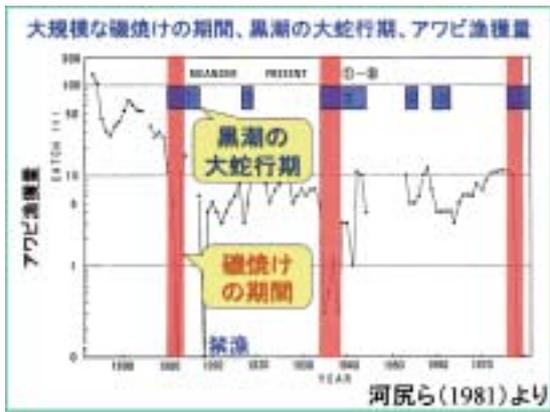


図8 伊豆半島東岸田牛の1880～1980年の100年間における大規模な磯焼け発生期間、黒潮大蛇行期、アワビ漁獲量の関係。河尻ら(1981)から。

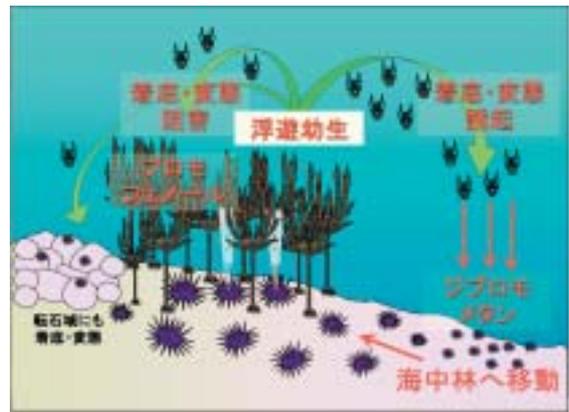


図9 無節サンゴモ群落から分泌されるジプロロメタンのウニ幼生に対する着底・変態誘起作用と海中林から分泌されるブロモフェノールのウニ幼生に対する着底・変態阻害作用。

黒潮の流路など海洋情報の長期データを比較して磯焼け発生の原因を明らかにしました(図8)。黒潮は通常日本列島に沿って直進して北上しますが、大きく蛇行する場合があります。黒潮が蛇行すると、伊豆半島には黒潮の流軸が著しく接岸します。その影響によって沿岸水は25～30℃の高水温になります。高水温の影響でそれまで水深20m付近まで分布していた海中林が深所から死んでいき、水深1～2m程度までに縮小します。そして1カ月後には食物不足に陥ったアワビが大量に死亡します。黒潮は親潮とは違って高水温で、窒素やリンなど栄養塩が非常に少ない海流です。そのため高水温下での栄養塩不足が海中林の最も重要な死亡要因であると考えられています。

表1には、ウニの食害(無節サンゴモ型動物)も磯焼けの原因として挙げられています。無節サンゴモが海底を占有するとウニが増加するからです。このため、海外でも磯焼けの海底を「ウニが優占する荒地」または「ウニ-サンゴモ群集」と呼びます。何故、ウニが増加するのでしょうか。

海藻とウニの化学交信

多くの植物は、特有の化学物質を体内に蓄積したり、体外へ分泌して他の植物との競争、菌や細菌の感染、動物の食害を排除しています。山菜の苦みやトリカブトの毒などを思い出して下さい。この化学物質による作用を他感作用あるいは化学交信と言います。

海中林・無節サンゴモそしてウニ・アワビなど海藻を食べる植食動物は、食う・食われる関係だけでなく、海藻の化学物質を介しても深い関係を結んでいます。その一例を図9に示しました。コンブやヒバマタ類からなる海中林は、揮発物質のブロモフェノールを常時多量に分泌します。ブロモフェノールは低濃度でウニの浮遊幼生(図10)が親の体へ変態することを阻害し、殺したりもします。これは海中林がウニの食害を排除する仕組みなのです。海中林が深い場所まで健全に維持されている海域では、この作用によりウニが急激に増加せず、バランスよく保たれています。オニコンブもウニも豊作であった、ついこの間までの羅

臼の豊かな海を思い出します。

一方無節サンゴモは、揮発物質のジプロロメタンを常時多量に分泌し、低濃度でウニの浮遊幼生を海底へ呼び込み、1～2時間で親の体へ変態させます。その結果、無節サンゴモが優占する海底にはウニが増加します。無節サンゴモは、ウニが増加するように仕組んでいたのです。無節サンゴモは、体上に生育する他の海藻をウニに食わせて排除し、自らの群落、すなわち磯焼けの状態を維持すると考えられます。問題は、ウニが浅所の海中林へ移動して喰い尽し、磯焼けを発生させるか否かです。

ウニは磯焼けを発生させるか

キタムラサキウニは、春～夏には発生場所の無節サンゴモ群落から生殖巣を発達させるため食物を求めて浅所のコンブ類海中林へ移動し、産卵後秋～冬には一部を残して再び無節サンゴモ群落へ移動することが北海道日本海や三陸沿岸で知られています。しかし、男鹿半島のヒバマタ類海中林ではキタムラサキウニは周年無節サンゴモ群落にとどまり、浅所へ移動しま

せん。浅所からの流れ藻やフジツボなど固着動物を食べて生殖巣を発達させます。一方、女川湾のバフンウニは秋～冬に浅所へ移動して海藻を食べ、生殖巣を発達させた後、冬～春に産卵します。このようにウニは発生場所の無節サンゴモ群落に生息し、種固有の生活年周期により生殖巣を発達させるため食物を求めて移動します。

北アメリカのオオキタムラサキウニやアメリカムラサキウニも通常発生場所である深所の無節サンゴモ群落に生息し、海中林から供給される流れ藻を食べて生活しています。しかし、高水温・貧栄養のエル・ニーニョが発生すると大時化などその影響を受けて、海中林が大きく縮小し、流れ藻が著しく減少します。すると、ウニは食物を求めて浅所の海中林へ移動します。ホクヨウオオバフンウニの場合は、幼生期に高水温であると生残率が高くなり、無節サンゴモ群落に大量に発生します。そして重量で2kg/m³以上までになると、摂食前線と表現されるように集団で大挙して浅所へ移動し、海中林を食い尽くすと報告されています。このように北アメリカのウニも、日本のウニと同様に発生場所の無節サンゴモ群落に生息します。そして、環境変化による海中林の縮小および大量加入がもたらす高密度化によって食物が不足すると海中林へ移動するのです。

ウニが磯焼けを起こすとする説は、ホクヨウオオバフンウニの事例を日本のウニにあてはめたものと思われます。しかし、日本ではキタムラサキウニが幼生期に高水温

で大量加入したとしても海中林を食い尽した事例はありません。ウニの増加とその食害の影響は、環境条件の変化にもとづく海中林の縮小と無節サンゴモ群落の拡大が前提となります。その点では、日本も北アメリカも環境変化によるウニの食物に対する行動は、例えホクヨウオオバフンウニであってもほとんど同じです。ホクヨウオオバフンウニの摂食前線の形成は、トノサマバツタが大量発生した場合、飛蝗(ひこう)とよばれて大挙して作物を喰い尽してゆく現象と良く似ています。対策を建てるには、大量発生機構を明らかにすることが必要なのです。

以上の事例から、ウニの食害は磯焼けの持続に寄与しますが、磯焼けを発生させることはありません。したがってウニは決して悪者ではなく、岩礁生態系の最も重要な構成員なのです。今後さらに、ウニの生態学的共通性と種の特異性を解明する必要があります。

無節サンゴモ群落からウニを除去すると海藻が生育します。この事実もウニ主犯説の根拠となっているようです。しかし、ウニの食害が何故顕在化したのかを明らかにしなければ、結果論にすぎません。また、ウニ除去によって生育する海藻は海況によって異なるのです。高水温・貧栄養の海況が持続する日本海寿都沿岸では、ウニ除去によって期待されたホソメコンブではなく、日本海特産ヒバマタ類のフシスジモクが生育しました。2007～2009年に泊村で行われた実証実験によれば、より高水温・貧栄養の海況ではコンブは



図10 キタムラサキウニの変態間近の八腕後期ブルテウス幼生。

おろか、海藻はほとんど生育しませんでした。太平洋の牡鹿半島周辺海域でも温暖な年にはヒバマタ類のアカモクが、寒冷な年にはマコンブが生育すると報告されています。つまり海藻も生物ですから、海藻が生育するか否かは環境条件と対応しているのです。海藻の生理生態学を解明する努力が必要です。

地球温暖化の影響

海中林、特に多くのコンブは水温が低く、栄養塩が豊富な寒流が影響する海域や深層水が湧昇する海域に形成されています。羅臼の海の比類ない豊かさは、正に親潮と深層水の恵みと言えます。

図11は日本海に浮かぶ奥尻島の水深3mの海底を1983年8月に撮影したものです。一面無節サンゴモだけで、キタムラサキウニが大量に生息していました。図12は図11とまったく同じ場所を1984年8月に撮影したもので、一面ホソメコンブとなりました。1984年は冬～夏に親潮の勢いが極めて強い異常冷水現象が発生した年として知られています。ウニが多数生息している、低水温・富栄養な年にはウニの食害以上にコンブが速く成長することが分かります。日本のコンブは、最も成長が

速い冬～春には1日に5～30cmも成長します。親潮の勢いが極めて強い冷水年は、近年では1974、1981、1984、1985、1992年で、北海道・東北沿岸のコンブが大豊作であったことで知られます。

日本の沿岸では、約10年周期で冷水期と暖水期が交代すると考えられていました。しかし、現在そのゆらぎを越えて高水温・貧栄養の海況が長期に持続しています。地球温暖化が現実になったと海洋物理学者は考えています。地球温暖化は寒流の勢いを弱めます。また、高い気温が海表面の水温を高め、雨が沢山降るようになるので塩分濃度を低下させます。このため、表面海水の比重が軽くなり、比重が重く、冷たく、富栄養な深層水との混合が妨げられます。こうして沿岸の海水は高水温・貧栄養の状態が持続します。

羅臼の海の比類ない豊かさは、



図11 1983年8月の奥尻島水深3mの海底。無節サンゴモ群落に、キタムラサキウニが多数生息していた。



図12 1984年8月の奥尻島水深3mの海底。図11と同じ海底であるが、ホソメコンブが大量に生育した。

親潮と岸深な地形で風の影響によって深層水が頻繁に湧昇し、栄養塩が補給されることによって維持されていました。地球温暖化はオニコンブなどの著しい減少とウニの増加の重大な要因であるといえます。高水温・貧栄養の海況による海中林の縮小は、羅臼だけではありません。日本沿岸、どこか世界中どここの沿岸でも起こっている極めて重大な事態なのです。

地球温暖化による海中林の消滅は無節サンゴモ群落の拡大をもたらします。無節サンゴモはウニの発生を促進するので、ウニが増加します。そして、ウニの過剰な食害によって海中林の回復が長期に阻害されます。このため、海中林がもつ高い二酸化炭素固定速度を著しく低下させます。その結果、地球温暖化をさらに促進する負のスパイラルへと導くのです。

私たちは、今こそ地球温暖化を

阻止するために立ち上がる必要があります。しかし、宮澤賢治さんの「雨ニモ負ケズ」の一節に「ヒデリノトキハナミダヲナガシ/サムサノナツハオロオロアルキ」とあるように、人間の手で環境を回復させることはほとんど不可能に近いのです。少なくとも温室効果ガスの排出をやめる努力を払うべきであると思います。また、現在の沿岸漁業を持続させ、発展させるためにはどうすれば良いのか、英知を集めてその方策を今すぐに確立しな

ればなりません。羅臼においては、オニコンブの生産をどうすれば高く維持できるのか、オニコンブとエゾバフンウニの生産をともに維持するにはどうすれば良いのか、キタムラサキウニをどのように利用すべきかなど、課題はたくさんあります。ともに考え、ともに行動を起こしたいと思います。

参考書

磯焼けと海中林、岩礁生態系についてさらに専門的な知識を希望される皆さんには、以下に紹介する本を参考にいただければ、幸いに思います。

▷ 谷口和也(1998): 磯焼けを海中林へ-岩礁生態系の世界。裳華房、1,600円+税。岩礁生態系の世界と磯焼けの機構を日本で初めて紹介しました。

▷ 谷口和也編(1999): 磯焼けの機構と藻場修復(水産学シリーズ120)。恒星社厚生閣、2,500円+税。1998年の日本水産学会シンポジウム記録。日本各地の海中造林の努力が具体的に紹介されています。

▷ 谷口和也・吾妻行雄・嵯峨直恆編(2008): 磯焼けの科学と修復技術(水産学シリーズ160)。恒星社厚生閣、2,600円+税。2007年の日本水産学会シンポジウム記録。10年前と較べた磯焼けの研究水準と海中造林技術の進歩が分かります。

▷ 本川達雄編(2009): ウニ学。東海大学出版会、4,800円+税。吾妻行雄がウニの生態学と漁業に関する最新の研究成果を紹介しています。姉妹編に「ヒトデ学」(東海大学出版会)があります。

浜のフレッシュマン

宗谷漁協
森 貴宏さん



後はこの道を極めるだけ

宗谷漁協の漁業後継者、森貴宏さんの実家は、ホタテ桁網、コンブ、モズク、タコいさり漁業などを営んでいます。

森さんは、剣道で白老の高校に進学しましたが、1年の夏休みに帰省して地元の海を見たときに、ホッとした安心感を覚え、自分の居場所はここだと感じ、漁師になろうと決意したそうです。

「父の姿も大きかったです。しっかりしてカッコ良い魅力があって、父の仕事を見てきてこういう職業も良いなって思いました」この夏はコンブ漁に一人で行け

るようになりました。

「初めは棹の使い方も下手で、揚げてみたらコンブがかかってなかったってこともありました」

ホタテ桁網船は6人共同で、今はまだ見習いとして父親と一緒に船に乗って作業しています。

「ホタテは、選別作業が最初は辛かったです。暑いしカップがむれて、汗をかいて体が重くなってかなりきつかったです。でも、父にできるなら自分にもできるはずと思って踏ん張りました」

仕事の流れをつかんである程度経験を積んだら、できるだけ早

い時期に父親と交代して、楽をさせてあげたいと考えています。

「父のように、いざというときでも状況に応じて冷静な判断ができ、仕事もこなし、みんなに思いやりを持っているような漁師になりたいです。早く一人前になれるようにケガだけは気をつけて意欲を持って頑張りたい。まだほんの一年ですが、漁師になってよかったと思っています。後は自分の選んだ道を極めるだけです」

剣道で培ってきた忍耐と根性の精神力が武器です。

