

# 種子島沿岸における小型魚礁ブロック を用いたトコブシ生息場の環境修復

USE OF SMALL CONCRETE BLOCKS FOR RESTORATION OF  
THE ABALONE HABITAT ALONG THE COAST OF TANEGASHIMA

江幡恵吾<sup>1</sup>・東 輝<sup>2</sup>・塩満暁洋<sup>3</sup>・税所誠一<sup>3</sup>・井手陽一<sup>4</sup>・砂坂育男<sup>5</sup>  
Keigo EBATA, Akira HIGASHI, Akihiro SHIOMITSU,  
Seiichi SAISHO, Yoichiro IDE and Ikuo SUNASAKA

<sup>1</sup>正会員 博(水産科学) 鹿児島大学水産学部水産学科 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4丁目50-20)

<sup>2</sup>鹿児島大学水産学部水産学科 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4丁目50-20)

<sup>3</sup>鹿児島共和コンクリート工業株式会社 (〒892-0821 鹿児島県鹿児島市名山町1-3)

<sup>4</sup>海洋プランニング株式会社 (〒819-0165 福岡市西区今津6015-7)

<sup>5</sup>種子島漁業協同組合 (〒891-3111 鹿児島県西之表市西町192)

The abalone *Haliotis diversicolor* is a valuable commercial fishing species in Tanegashima, Kagoshima. Between 1993 and 1997, artificial habitats for abalones were developed by mining the rocky coastal area. However, most of the seabed in these areas was covered with sand and small stones, making the habitat unsuitable for abalones.

In order to restore the abalone habitat, artificial reefs, which were constructed from lightweight hexagonal concrete blocks, were placed on the seabed and abalone juveniles were released. The progress in the growth and survival of the abalones and the algal species growing on the artificial reefs were regularly monitored for 3 years. Approximately 1 year after the release of the juveniles, the survival rate, which is defined as the proportion of surviving juveniles compared to the total number of juveniles released, was between 12.1% and 26.9%.

**Key Words :** Abalone, *Haliotis diversicolor*, habitat, artificial reef, concrete block

## 1. 研究の背景と目的

アワビ類は代表的な栽培漁業対象種であり、1960年頃から種苗生産技術の開発が開始され、現在では稚貝の大量生産が可能となり、全国各地で稚貝放流事業や増殖場造成が行われている<sup>1)</sup>。しかしながら、必ずしも漁獲量の増加にはつながっておらず、主な要因として天然稚貝の発生量の低迷などが考えられている<sup>2)</sup>。

鹿児島県種子島において重要な漁業対象種であるトコブシ *Haliotis diversicolor*<sup>3)</sup>は、1981年から稚貝放流事業が実施され、最近では毎年約20万個が放流されているが、漁獲量は減少の一途を辿り、1980年で約80トンであったが現在では数トン程度までに低下している<sup>4)</sup>。

種子島の東側の沿岸では1993～1997年に溝式漁場造成事業が行なわれ、岩盤地帯を人工的に櫛場状の溝に掘ることでトコブシの養殖場が造成されたが、現在では、海底の多くが流入した土砂に覆われてしまっている。トコブシは潮間帯の岩礁域に生息するため<sup>5)</sup>、土砂で覆われた砂地の海底にはトコブシの

隠れ家となるような場所や空間がないため生息することはできない。そこで本研究では、土砂で覆われてしまった溝式養殖場内の海底をトコブシが生息できる環境へ修復することを目的として、小型ブロックを用いて人工的に生息場を造成して、その効果を検証した。同時に、従来のコンクリートに石炭灰や焼酎粕を混入させることで、魚礁ブロックに着生する海藻類や生物量を増加させることを試みた。

## 2. 研究内容

実験に使用した魚礁ブロック(図-1)は六角形の形状(サイズ:縦424.4mm,横490mm,高さ250mm,質量約60kg,体積0.0262m<sup>3</sup>)で表面と裏面に同じような起伏があり、海底に設置したときに魚礁ブロックと海底との間に隙間ができる構造になっている。このわずかな隙間がトコブシの生息場となり、また、魚礁ブロックの表面にはトコブシの餌料となる海藻類を着生させることを想定している。魚礁ブロックは水中での作業を考慮して小型で軽量の設計

にしており、魚礁ブロックを返すだけで簡単にトコブシを漁獲できるようにした。



図-1 トコブシ用小型魚礁ブロック

魚礁ブロックの基質は、従来の普通コンクリートの他に石炭灰配合、焼酎粕配合の合計3種類とした。石炭灰は火力発電所から排出される産業廃棄物のひとつであり、これを配合することでコンクリートの構造が多孔質になり海藻類が付着しやすくなることを目的とした<sup>6)</sup>。本研究では普通コンクリートの製作時に使用する細砂、碎石のすべてを石炭灰に置き換えて製作したものを石炭灰コンクリートとした。焼酎粕は、甘藷焼酎蒸留時に排出される廃棄物で、その成分の約95%が水分で残りの5%の固形分の中にアミノ酸類、ミネラル、ビタミンなどの有用成分を含んでいる<sup>7),8)</sup>。本研究では普通コンクリートを製作するときに配合する水分のうちの30%を焼酎粕で代替することで焼酎粕コンクリートを製作し、海水中で魚礁ブロックの表面に付着する生物量を増加させることを試みた<sup>9)</sup>。石炭灰コンクリートおよび焼酎粕コンクリートの何れも海洋汚染防止法で定められている溶出試験を実施して、すべての項目について基準値以下であることを確認した上で試験に使用した。

試験海域は西之表市庄司浦地先の溝式養殖場内にある2つの溝で(図-2)、岸から沖に向かって左側から溝1、溝2とした。ひとつの溝の長さは約60mで幅は約5m、水深は干潮時で約0.5m、満潮時で約3mである。



図-2 試験海域(干潮時)

魚礁ブロックを設置する前に事前の潜水調査を行ったところ、海底は平坦な形状で砂礫や細砂で覆われており、ダイバーによる目視観察の結果、トコブシの生息は確認できなかった。

2005年3月28日に魚礁ブロックの設置作業を行った。魚礁ブロックは重機で試験海域に投入した後、ダイバーによって整列作業を行ない、各基質が60基ずつから構成される単独区画と、それぞれ40基ずつをランダムに配置した混合区画の合計4区画とした(図-3)。

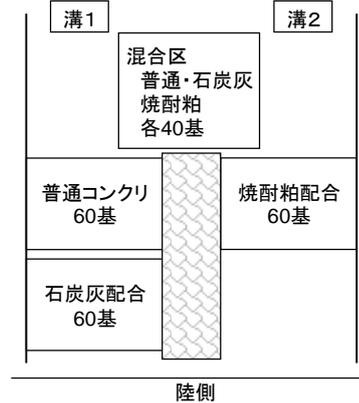


図-3 魚礁ブロック配置図

魚礁ブロックを図-3のように配置したのは、焼酎粕コンクリートから焼酎粕の有機成分が溶出することを考慮したためであり、焼酎粕コンクリートの単独区画が他の基質の単独区画と隣接しないように、それぞれを溝1と溝2に分けて設置した。また、焼酎粕の有機成分が溶出することによって、魚礁ブロック単体でその効果が得られるか、あるいはある程度まとまった個数の魚礁ブロックを密集させることで、その効果が得られるかどうかについても検証するために、単独区画と混合区画の両方を設けた。

2005年6月20日に鹿児島県栽培漁業協会では種苗生産されたトコブシ稚貝(殻長約20mm)を魚礁ブロック1個あたり10個体ずつになるように合計3,000個体を放流した。鹿児島県漁業調整規則ではトコブシの漁期は5月1日から9月30日までとなっていることを考慮して、稚貝を放流した翌年2006年5月15日に調査を行い、鹿児島県漁業調整規則で出荷サイズと定められている殻長50mm以上の個体のみを水揚げし、再度、稚貝を3000個体放流した。さらに2007年5月15日にも同様な調査、出荷サイズの水揚げ、稚貝放流を行い、2008年6月22日には調査と水揚げを行った。2005年6月から2008年6月の試験期間に前述した調査以外にも、定期的に状況を把握するために、2005年7月7日、12月8日、2006年7月24日、10月21日、12月5日、2007年10月17日、12月4日に調査を行った。

調査では、はじめに魚礁ブロックの設置状況と海藻類の着生状況をダイバーによって目視観察し、水

中カメラで撮影した。その後、すべての魚礁ブロックを返してトコブシの生息数を測定した。鹿児島県栽培漁業協会では、トコブシの稚貝にコンブやワカメを主原料とする人工餌料を給餌しているため、飼育期間中の殻の色は緑色である。一方、天然の海域で育ったトコブシは殻の色はすべて褐色であるため、トコブシの生息数を測定する時には、殻の色によって放流貝または天然貝を判別した。また、殻長の測定には、魚礁ブロックに付着しているトコブシを無理に剥すことで損傷やストレスを与えるのを防ぐために、魚礁ブロックを返したときに自然に剥がれ落ちた個体のみを採取して使用した。

### 3. 研究結果

魚礁ブロックを設置してから2008年6月までの調査期間中に、魚礁ブロックはほぼ安定した状態で設置されていた。しかしながら、土砂の流入によって魚礁ブロックが覆われてしまうことがあったため、調査時には砂から掘り起こして、完全に埋没してしまうことを防いだ。

魚礁ブロックを設置した後、初めて行なった2005年7月の調査時からブロックの表面には海藻類の着生が確認されたが、何れの調査でも普通コンクリート、石炭灰コンクリート、焼酎粕コンクリートの基質の違いによって着生している海藻類の種類数や被度に明瞭な違いは見られなかった。2005年7月から2008年6月までの約3ヶ年の期間に魚礁ブロックの表面に観察された海藻類の種類数の推移を図-4に示す。

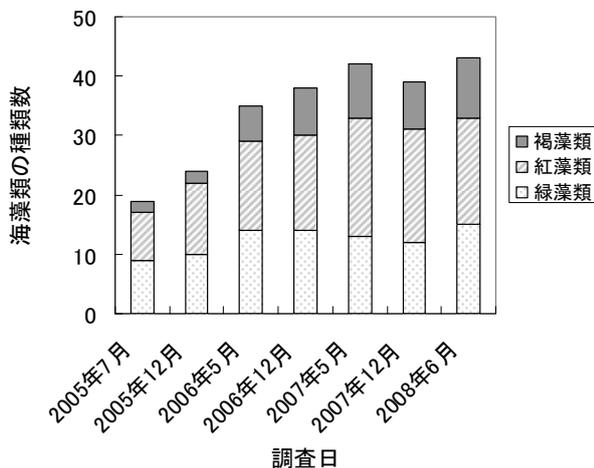


図-4 魚礁ブロック表面に着生した海藻類の種類数

何れの調査においても海藻類の種類数の内訳は、紅藻類、緑藻類、褐藻類の順に多かった。調査を開始してから日数が経過するとともに海藻類の種類数が増加しており、特に褐藻類や紅藻類の種類数が増えていた。2008年6月の調査では、普通コンクリート、石炭灰コンクリート、焼酎粕コンクリート

の表面に、それぞれ31種、29種、30種の海藻類が観察され、シワヤハズやアミグサなどの褐藻類やモサズキ属やイバラノリなどの紅藻類などが優占していた。

2005年、2006年、2007年に放流したトコブシの生息数の変化を単独区画および混合区画に分けて、それぞれ図-5、図-6に示す。ここでは、放流個体数に対する生息数の割合を歩留率と定義した。トコブシの歩留率は、放流後約半年間で著しく低下し、その後はほぼ横ばいで推移する傾向を示した。稚貝を放流した後、約1年が経過した翌年5月または6月の調査時の各基質の歩留率について、クラスカルウォリス検定による比較を行い、多重比較にはシェッフェの方法を用いて解析した結果、単独区画では2005年放流貝で焼酎粕コンクリートが石炭灰コンクリート、普通コンクリートよりも有意に高い値を示したが ( $P < 0.01$ )、2007年放流貝では石炭灰コンクリートおよび普通コンクリートが焼酎粕コンクリートよりも有意に高い値を示し ( $P < 0.01$ )、2005年放流貝の結果とは逆の結果が得られた。混合区画では、2005年放流貝、2006年放流貝では基質によって歩留率に有意な差は見られず、2007年放流貝で石炭灰コンクリートおよび焼酎粕コンクリートが普通コンクリートよりも有意に高い値を示した ( $P < 0.01$ )。

2005年放流貝、2006年放流貝、2007年放流貝について、放流してから約1年が経過した翌年5月または6月の調査時における殻長の測定結果を図-7に示す。トコブシの殻長の平均値を基質ごとに示しており、2005年放流貝では普通コンクリートで石炭灰コンクリートおよび焼酎粕コンクリートよりも有意に高い値を示し、石炭灰コンクリートは焼酎粕コンクリートよりも有意に高い値を示した ( $P < 0.01$ )。2006年放流貝、2007年放流貝では、基質によって殻長に有意な差は見られなかった。

### 4. 考察, まとめ

本研究では、種子島沿岸のトコブシ溝式養殖場内において、流入した土砂に覆われてトコブシが生息できなくなった海底に小型魚礁ブロックを用いて環境修復に取り組んだ。同時に従来のコンクリートに石炭灰や焼酎粕を混入させて、魚礁ブロックに着生する海藻類や生物量に与える影響について検証した。

魚礁ブロックを試験海域に設置してから、ブロック表面に海藻類の着生が観察され、調査を行った3ヶ年の期間に海藻類の種類数が増加しているのが確認された。定期的に調査を行ない魚礁ブロックを返してトコブシの生息数を測定したことで、ブロック表面に堆積した細砂などを取り除くことができ、それによって海藻類が着生しやすくなり、魚礁ブロックによる藻場造成効果が得られたものと考えられる。

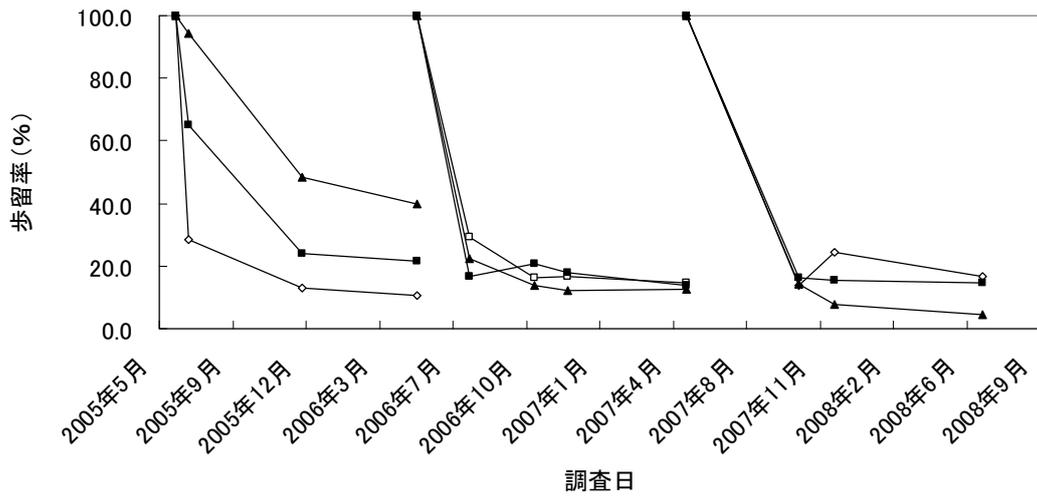


図-5 単独区画におけるトコブシ放流員の歩留率の変化  
(◇:普通コンクリート, ■:石炭灰コンクリート, ▲:焼酎粕コンクリート)

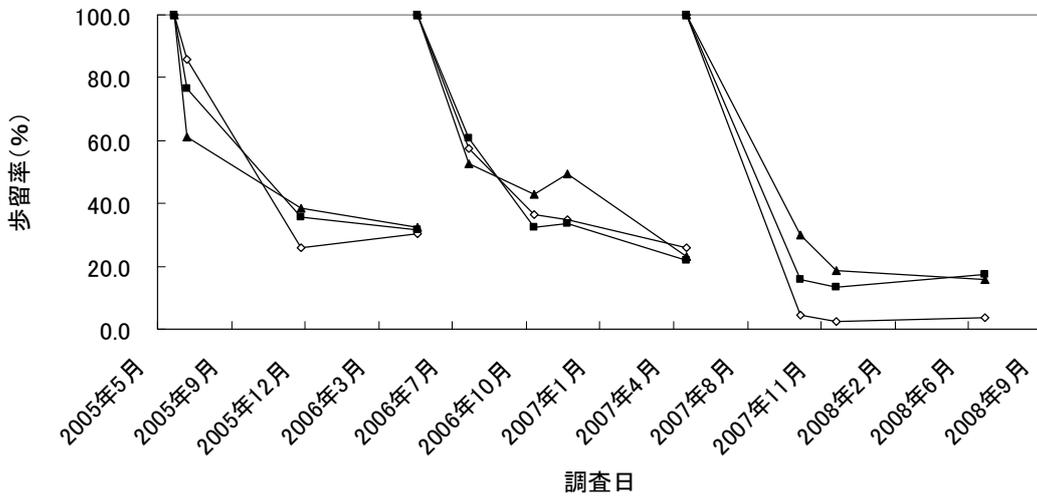


図-6 混合区画におけるトコブシ放流員の歩留率の変化  
(◇:普通コンクリート, ■:石炭灰コンクリート, ▲:焼酎粕コンクリート)

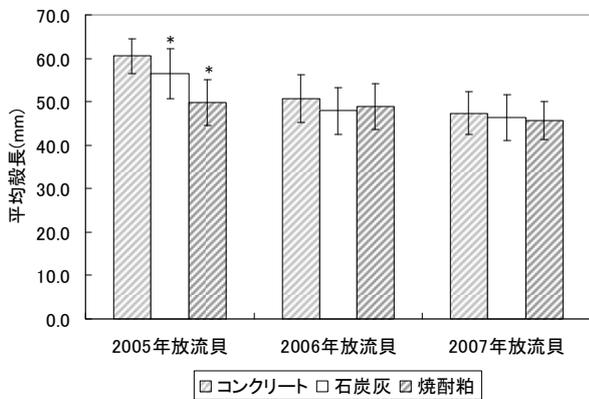


図-7 放流約1年後の放流員の平均殻長

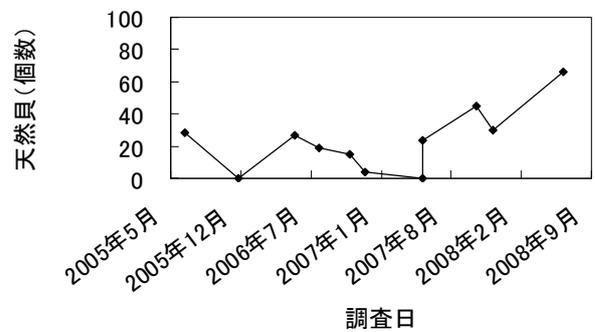


図-8 試験海域に観察された天然貝の個体数

トコブシに様々な種類の海藻類を給餌した実験では、トコブシは海藻類の中で褐藻類、紅藻類、緑藻類の順に好むことが明らかにされている<sup>10)</sup>。魚礁ブロックを設置してから日数が経過するとともに、魚礁ブロックの表面に着生する海藻類の中で特に褐藻類、紅藻類の種類が増えていたことから、トコブシの餌料環境は向上したと推察される。

調査時に魚礁ブロックに付着していたトコブシは放流貝だけでなく天然貝も観察された。天然貝の生息数は放流貝の生息数と比較して少なく、また魚礁ブロックの基質の種類によって差がなかったため、試験海域で観察されたすべての天然貝の個体数をまとめ、調査日との関係を示した(図-8)。天然貝の総個体数は調査を開始した1年目、2年目では0~27個体で推移したが、3年目になると増加する傾向が見られ、2008年6月の調査時には66個体の天然貝が確認された。これらの天然貝は試験海域の外から移動してきた個体であるか、あるいは試験海域の中で再生産された個体であるかは特定することは困難であるが、少なくとも天然貝の個体数が増加したことから考えると、前述したように海藻類の種類数が増加したなど、魚礁ブロックを設置したことによってトコブシの生息場としての環境が向上したものと考えられる。

本調査はすべて昼間に行なっており、生息が確認されたトコブシは、魚礁ブロックの底面に付着しているか、あるいは魚礁ブロックの真下の海底上に位置していた。水槽内でトコブシを飼育した実験によるとトコブシの行動は夜間に活性化する<sup>11)</sup>として一方、天然の海域で夜間に行なった調査では石の表面に出ている個体は認められなかったと報告されている<sup>12)</sup>。トコブシの日周行動についてはさらに検証する必要があるが、本調査の結果、トコブシは魚礁ブロックの中でも底面やブロックの真下などを生息場として利用していると言える。

アワビ類の稚貝放流場における環境条件として、流れや波で損傷、流失を起こさないこと、底質が適当で光を遮るような岩盤構造や付着に適した空間を持ち、餌料補給があり、海水の流通が良いことなどがあげられている<sup>11),13)</sup>。また、八丈島のトコブシ漁場において天然石の設置状態とトコブシの生息状況を調査した報告<sup>14)</sup>によると、石の上に乗っていて不安定な状態の天然石にはトコブシの生息数は少なく、海底上に安定して設置された天然石や、天然石がある程度海底の砂に埋もれて動かさないような状態であるとトコブシの住み着きが良くとしている。本研究で使用した魚礁ブロックは六角形の形状で表面には起伏があるため、海底の流れを受けても移動しにくい構造になっており、また、魚礁ブロックと海底との間に狭い空間が作り出すことで、光を遮るような空間を作り出すことができたと考えられる。

放流貝の歩留率は、普通コンクリート、石炭灰コンクリート、焼酎粕コンクリートの基質の違いによって明瞭な違いは見られなかったことから、2005

年放流貝、2006年放流貝、2007年放流貝について、放流総個体数に対する1年後の生息数の割合で歩留率を求めたところ、それぞれ26.9%、17.7%、12.1%となった。八丈島におけるトコブシの放流試験では、放流直後の7日後の歩留率は46.0%で、その後は移動や分散のために1年以上経過すると10%以下に減少するとしている。調査を行なった溝式養殖場内と八丈島では場所が異なり、環境条件が同一ではないため単純な比較はできないものの、魚礁ブロックを用いてトコブシの生息場を確保した上で稚貝放流を行ったことで、1年後の歩留率が10%以下になることはなく、八丈島の試験結果よりも高い歩留率を得ることができた。しかしながら、本調査海域で放流したトコブシは、放流してから半年間の間に大きく減少したことから、今後、漁獲量を向上させるにあたって、放流後の初期段階での減耗を抑えることが課題としてあげられる。マダカアワビでは、稚貝放流1年後における歩留率は、放流時の稚貝の殻長に依存し、殻長が大きいほど歩留率は高くなり、殻長4cm以上ではほぼ一定となったとの報告がある<sup>13)</sup>。本調査で放流したトコブシの稚貝は殻長が約20mmで、鹿児島県内の稚貝放流事業で使用されている個体と同サイズのものであるが、今後は、放流稚貝のサイズを大きくして歩留率の向上を図ることを検討したい。

放流貝の成長について、殻長の測定結果をもとに考察すると、2005年放流貝の平均殻長でのみ基質によって有意な差が見られ、普通コンクリート、石炭灰コンクリート、焼酎粕コンクリートの順に高い値を得た。一方、2005年放流貝のトコブシの歩留率は、焼酎粕コンクリート、石炭灰コンクリート、普通コンクリートの順に高くなっていったことから、焼酎粕コンクリートには他の基質と比較して多くの個体が生息していたことで、トコブシの餌料摂取量が相対的に減少し成長量に差が見られたものと推測される。今後、適正な放流個体数を考慮するにあたって、魚礁ブロック1個あたりに生息できるトコブシの個体数や魚礁ブロックに生息する個体数と成長の関係を検討する必要がある。

本研究では、従来のコンクリートに石炭灰や焼酎粕を混入させることで基質の違いによる影響を検証したが、魚礁ブロック表面に着生する海藻類の種類や被度に明瞭な違いは見られず、トコブシの生息数については試験を開始した1年目に単独区画で、3年目に混合区画でのみ有意な差が見られたが、基質の違いによる影響を結論するには至らなかった。本研究で製作した石炭灰コンクリートに配合した石炭灰は、ブロックの全重量の約66%に相当し、また、焼酎粕コンクリートに配合した焼酎粕は、普通コンクリートの水分のうち30%を置き換えたもので、魚礁ブロックの全重量の約2%に相当する。焼酎粕の約95%が水分で有機成分は約5%であることを考えると、焼酎粕コンクリートに含まれる有機成分はごく僅かな量である。したがって、本研究で製

作した石炭灰コンクリートや焼酎粕コンクリートに混入させた石炭灰や焼酎粕の量では、海藻類の着生やトコブシの生息などに対して明瞭な違いを及ぼすほどの効果はなかったといえる。そのため、石炭灰や焼酎粕を従来のコンクリートに配合することで新たな機能を付加させようとするには、さらに改善が必要である。現在、焼酎粕コンクリートについては、焼酎粕をそのままの状態でもコンクリートに混ぜるのではなく、焼酎粕から生成した濃縮アミノ酸溶液をコンクリートに混ぜることで有機成分の濃度を高めることで改善を図り開発を進めている。

試験を行なった溝式養殖場内は、海底が細砂、砂礫であり、また、溝の形状が岸から沖に向かって開けた状態であるために、沖からの流れによって海底の砂が移動して魚礁ブロックが潜砂してしまうことは避けられなかった。魚礁ブロックと海底との僅かな隙間がトコブシの生息場となるために、トコブシの生息場としての機能を維持していくには、定期的に魚礁ブロックの設置状況を確認して、潜砂状況によっては掘り起こしたりするなどの作業を行なうことが必要である。

トコブシ漁場を造成する方法として天然石を投入することも行なわれているが<sup>1)</sup>、天然石は形状が様々で重量も異なるため、トコブシを漁獲する時に水中で掘り起こしたり返したりする際に作業の負担が大きいことが問題としてあげられる。本研究で使用した魚礁ブロックは形状が一定で、水中での重量が約 30kg で軽量であり持ちやすいことから、水中での作業が軽減できると考えている。

本研究の結果、砂に覆われてトコブシが生息できなくなった海域に魚礁ブロックを設置することで、環境を修復できる可能性が示されたことから、現在、離島漁業再生支援交付金事業によって種子島の2ヶ所の海域（西之表市壅泊、中種子町牧川）で魚礁ブロックを用いた漁場造成が開始されている。今後は、これらの海域での調査結果も含めて魚礁ブロックによるトコブシ生息場造成の効果をさらに詳細に検証していきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 武内智行：アワビ増殖場造成について。水産工学，36，pp.203-206，1999.
- 2) 河村知彦：アワビ類－資源の現状と研究の動向－，月刊海洋，34，pp.467-469，2002.
- 3) Onitsuka T, Kamura T, Horii T, Hamaguchi M, Ohashi S, Takiguchi N, Watanabe Y.: Identification of juvenile abalone *Haliotis diversicolor* based on number of open and sealed respiratory pores. *Fish. Sci.*, 73, pp.995-1000, 2007.
- 4) 野呂忠秀, Lota B. Alcantara, 増田育司：トコブシの資源管理に関する研究，鹿児島大学水産学部紀要，53，pp.37-40，2004.
- 5) 奥谷喬司：日本近海産貝類図鑑，東海大学出版会，2000.
- 6) 能登谷正浩：藻場の海藻と造成技術，成山堂書店，2003.
- 7) 木場信人：鹿児島県における焼酎粕の現状と今後の課題，鹿児島大学水産学部紀要，特別号，pp.1-5，2007.
- 8) 増田純雄，淵上勲，山内正仁，土手裕，丸山俊朗：焼酎蒸留粕の地域循環資源化システムに関する研究。土木学会論文集，741，pp.103-110，2003.
- 9) 江幡恵吾，宇野誠一，吉川毅，丸儀雅孝，東輝，谷和博，塩満暁洋，税所誠一，池田利光，若松憲二郎，達山智成，川井田博：焼酎粕を有効活用したコンクリート魚礁の開発，鹿児島大学水産学部紀要，特別号，pp.66-71，2007.
- 10) Alcantara L, Noro T.: Effect of macroalgal type and water temperature on macroalgal consumption rates of the abalone *Haliotis diversicolor* reeve, *Journal of Shellfish Research*, 24, 1169-1177, 2005.
- 11) Nakamura K, Archdale M. V.: Activity patterns of abalone under experimental conditions, *Aquaculture Research*, 32, pp.169-179, 2001.
- 12) 西村和久，伊藤茂：フクトコブシの摂餌について，水産増殖，17，pp.27-32，1969.
- 13) 日本水産学会編：アワビの種苗放流，種苗の放流効果，恒星社厚生閣，1976.
- 14) 東京都水産試験場：八丈島のフクトコブシ増殖に関する基礎調査 I，東京都水産試験場調査研究要報，119，1975.

第1次査読における指摘事項の対応（第2次投稿時に添付）

【論文 ID: P000】

査読者	指摘事項	著者の対応
査読者 1	<p>登載可とした。 ただし本論では、魚礁ブロックの効果について、統計的を用いた考察が必要と考える。</p>	<p>統計的な解析結果の記述を追加しました。</p>
査読者 2	<p>・単なる調査結果であり、論文としてはレベルが低いと思われ ①ブロックの考慮事項としてあげた点への考察、②効果を結論づけるための比較検証データの取得、が必要と思われます。特に、コントロールの調査サイトの設定を考えられるとよりと考えます。 ・ブロック設置前の生息状況のわかるデータの取得 ・ブロックを設置しない自然状態の漁場、あるいは、溝式養殖場でのデータとの比較</p>	<p>ブロックの設計で考慮したことについての考察を追加しました。 試験海域の海底は土砂で覆われており、トコブシが生息できる岩盤や転石がないところで、設置前の事前の潜水調査でもトコブシが生息していなかったことを確認しています。その旨に関する記述を追加いたしました。また、ブロックを設置しない自然状態の漁場との比較については、東京都水産試験場の調査結果を参考に考察しました。</p>
査読者 3	<p>基盤による違いが見られたのかどうか、その点についても考察されたい。</p>	<p>普通コンクリート、石炭灰コンクリート、焼酎粕コンクリートの比較を行い、その結果を記載しました。</p>
幹事会 (編集者)	なし	なし