三宅島の火山灰を利用したテングサ海藻礁の 開発とその効果の検証

滝尾 健二,^{1*} 安藤 和人,^{1a} 杉野 隆,^{1b}
駒澤 一朗,^{1a} 中村 千穂,^{2c} 荒川 久幸²

(2007 年 12 月 4 日受付, 2008 年 9 月 17 日受理)

¹東京都島しょ農林水産総合センター大島事業所, ²東京海洋大学海洋環境学科

Development and testing of blocks made from Miyakejima Island
volcanic ash for the restoration of Gelidium beds

KENJI TAKIO,^{1*} KAZUTO ANDO,^{1a} TAKASHI SUGINO,^{1b}
ICHIRO KOMAZAWA,^{1a} CHIHO NAKAMURA^{2c} AND HISAYUKI ARAKAWA²

¹*Oshima Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Oshima, Tokyo 100-0212, ²Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, Japan*

Using volcanic ash and/or scoria collected from Miyakejima Island, 6 blocks (L30×W30×H5 cm) of different compressive strengths and composition were formed and deployed in Sashikiji fishing harbor, Izu Oshima Island to compare the coverage of colonized marine algae with concrete blocks of the same type. The coverage of red algae on the upper surface of volcanic ash blocks was significantly lower than that on a concrete block. No significant differences were found among the coverages on the 6 volcanic ash blocks of different compressive strength and composition. Gelidiacean algae did not grow on the upper surface but on the edge and lateral surfaces of these blocks. In the second experiment, columnar blocks (φ5×H10 cm) were deployed in the same fishing harbor. Gelidiacean algae grew on the lateral surface of these blocks and the amount of these algae was only slightly smaller than that on concrete blocks of the same shape.

キーワード：海藻礁，火山灰，テングサ，三宅島

三宅島および周辺海域では、2000 年 6 月に始まった雄山の大規模な噴火により多量の火山灰が堆積し、また、島に堆積した火山灰の一部が降雨のたびに泥流となって海へ流出した。三宅島の東側の磯根漁場はテングサの好漁場を形成している場所が多い¹⁾が、泥流被害は特にこの地域で大きく、漁場の埋没によりテングサが枯死するなど、多くの磯根漁場が荒廃した。²⁾ 2000 年の噴火時の島全体への火山灰の堆積量は約 3,300 万 t (東京大学地震研究所ホームページ：<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/nakada/1022dep.html>) と膨大であったため、火

山灰流出対策として、砂防ダムの整備が進められている (東京都三宅支庁ホームページ：<http://www.soumu.metro.tokyo.jp/14miyake/miyakehp/>)。しかしながら、現在でも周辺海域への泥流の流出は続いており、テングサ漁場の多くは噴火以前の状態にまで回復していない。³⁾ また、三宅島はマクサ *Gelidium elegans*、やオオブサ *G. pacificum* を採取するテングサ漁業への依存度が大きく、漁獲量は噴火前年の 1999 年には約 260 t (漁獲金額で全体の約 22%)⁴⁾ を占めていたが、漁業が再開された 2005 年は、約 17 t (漁獲金額で全体の約 13%)⁵⁾

* Tel : 81-04992-4-0381. Fax : 81-04992-4-0383. Email : takio@ifarc.metro.tokyo.jp

^a 現所属：東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所 (Hachijo Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Mitsune, Hachijo, 100-1511, Japan)

^b 現所属：東京都建設局公園緑地部 (Bureau of Construction Tokyo Metropolitan Government, Shinjyuku, Tokyo 163-8011, Japan)

^c 現所属：アクアマリンふくしま (Aquamarine Fukushima, Iwaki, Fukushima, 971-8101, Japan)

と激減している。これらのことから、陸上の火山灰の処理、周辺海域への流出防止および荒廃したテングサ漁場の再生が急務となっている。

本研究では、島に堆積した火山灰の処理と荒廃したテングサ漁場の再生を目的として、三宅島の火山灰を利用した海藻礁の開発を試み、テングサの着生効果を検証したので報告する。

材料および方法

火山灰およびスコリアの採集とその性質 2001年11月および2002年1月に三宅島へ上陸して火山灰の採集を行った。火山灰の採集は村営牧場に隣接する青少年研修センター（図中記号a；以下「村営牧場」と記す。）と西部の阿古（記号b）の2箇所（Fig. 1）で行った。村営牧場では青少年研修センターの軒下と地面上に降灰していた火山灰、阿古では噴火直後に土嚢に詰められていた火山灰を採集したが、これらはいずれも野外で風雨に曝されていた。このほか、島南部の角屋敷（記号c）

においては、1983年の噴火の際に堆積し風雨に曝されていたと推察されるスコリア（砂利様の溶岩石）を採集した。

これらの火山灰およびスコリアについて、粒径分布、比重および鉱物組成の測定を行った。火山灰の粒径はコールター LS200（ベックマンコールター社製）により粒径 $0.375 \sim 2000 \mu\text{m}$ の範囲で計測した。粒径分布は約 $1 \sim 2000 \mu\text{m}$ で、村営牧場では $30 \mu\text{m}$ 、阿古では $30 \sim 250 \mu\text{m}$ の数カ所にモードが認められた。スコリアについては、試料の中から無作為に500個を選出し、ノギス（精度 0.05 mm ）で直径を計測したところ、粒径範囲は $8.65 \sim 58.75 \text{ mm}$ で、モードは 23.2 mm であった。比重（JSF-T111⁶⁾に準じて測定）は、火山灰では $2.77 \sim 2.82$ の範囲、スコリアでは 2.64 であった。また、X線回折装置 RINT2000（Rigaku Co.）を使用して火山灰の鉱物組成を調べたところ、スメクタイト類、緑泥石類、イライト、カオリナイト、石英、および長石が検出され、特にスメクタイト類と長石の含有量が多かった。

実験に用いた試験礁の組成、形状および圧縮強度 本研究では、まず、阿古の火山灰や角屋敷のスコリアをセメントと混合して、材料組成や圧縮強度の異なる6種類の試験礁（以下、火山灰ブロック、火山灰スコリアブロック）を製作して海底に沈め、コンクリート製の試験礁（以下、コンクリートブロック）との間でテングサおよびその他の紅藻類の繁茂状況を比較した。なお、これら7種類の試験礁（ $L30 \times W30 \times H5 \text{ cm}$ ）は2供試体ずつ製作した。Table 1に各試験礁の材料組成と圧縮強度を示した。火山灰ブロックは圧縮強度の低いほうから VA1, VA2, VA3 とし、火山灰スコリアブロックは圧縮強度の低いほうから VAS1, VAS2, VAS3 とした。Cは対照としたコンクリートブロックである。試験礁は各2供試体あるため、例えば VA1-1, VA1-2 の様に、それぞれ番号をつけ識別した。各試験礁の圧縮強度は、アムスラー式圧縮試験機（前川試験機製作所製）を用いて測定した。火山灰ブロックの圧縮強度は、VA1（セメント含有率 20%）で 6.1 kgf/cm^2 、VA2（35.7%）で 38.7 kgf/cm^2 、VA3（50%）で 201.9 kgf/cm^2 、火山灰スコリアブロックは、VAS1（セメント含有率 10.1%）で 31.6 kgf/cm^2 、VAS2（20%）で 96.9 kgf/cm^2 、VAS3（35.2%）で 221.3 kgf/cm^2 、コンクリートブロック(c)は 147.9 kgf/cm^2 であった。また、試験終了時における圧縮強度については、台座からの取り外しが困難と判断し、測定を行わなかった。なお、各試験礁の表面の粗さは、ブロックの製作時にブロックの表面に粗骨材が露出しないよう配慮したため、ほぼ同一と考えられた。

上記の7種類の試験礁を用いた組成・圧縮強度別試験の終了後、新たに円柱形（ $\phi 5 \times H10 \text{ cm}$ ）の試験礁を

Fig. 1 Map showing the locations where volcanic ash was collected (a-c), and location where the experimental blocks were deployed (d) and arranged (e). a: Village farm, b: Ako, c: Kadoyashiki, d: Sashikiji fishing harbor, e: Location where the experimental blocks were arranged.

Table 1 Composition and compressive strength of the experimental blocks

Experimental blocks			Material composition				Compressive strength (kgf/cm ²)
	Block No.	Nmber of blocks	Volcanic ash (kg)	Scoria (kg)	Cement (kg)	Water (kg)	
Volcanic ash, Cement, Water	VA1	2	5.6		1.4	3.5	6.1
	VA2	2	4.5		2.5	3.5	38.7
	VA3	2	3.5		3.5	3.5	201.9
Volcanic ash, Cement, Scoria, Water	VAS1	2	3.1	3.1	0.7	2.3	31.6
	VAS2	2	2.8	2.8	1.4	2.3	96.9
	VAS3	2	2.3	2.3	2.5	2.3	221.3
Concrete	C	2	(General concrete 10 kg)				147.9

製作した。円柱形の試験礁は原料として火山灰を使用したブロック（以下円柱形火山灰ブロック）およびコンクリートブロック（以下円柱形コンクリートブロック）を各8本とした。円柱形火山灰ブロックは村営牧場の火山灰を使用して製作し、その配合はVA3の場合と同様とした。また、これらブロック表面の粗さは組成・圧縮強度別試験礁同様に製作したため、ほぼ同一と考えられた。

試験礁の追跡調査 組成・圧縮強度別試験礁はコンクリート製の台座（L60×W60×H15 cm）の上面に固定し、2002年5月31日に伊豆大島差木地漁港（Fig. 1, 記号d）の水深約3mの海底に設置（記号e）した。また、円柱形の試験礁は別のコンクリート製台座（L80×W80×H20 cm）の上面に4本ずつ取り付け、2005年8月5日に先の試験礁に隣接して設置した。なお、差木地漁港の海底は転石交じりの砂の底質であったため、試験礁は大きな転石を避けて、できるだけ水平になるよう設置した。試験礁の設置時期については、静岡県稲取町地先のマクサとオオブサおよび千葉県小湊町地先のマクサの生殖形成及び成熟の時期を5月中旬～10月下旬と報告した殖田⁷⁾を参考に、この期間内の設置に努めたが、円柱形の試験礁に関しては、製作と設置準備の遅れのために組成・圧縮強度別試験の開始時期と約2ヶ月のずれが生じた。

組成・圧縮強度別試験礁の追跡調査は設置から20日、74日、102日、140日、203日、251日、320日、404日、468日、560日および648日目にスクーバ潜水し、目視観察および写真撮影により行った。目視観察では、テングサの着生状況、その他の海藻の着生状況、試験礁の表面形状の変化および植食動物の出現状況を確認した。また、写真撮影では、試験礁上面における紅藻類（石灰藻を除く、紅色を示す海藻）の入植、推移の比較を試み、組成・圧縮強度別試験終了後に製作した円柱形の火山灰ブロックの材料組成を決める際の参考とした。

写真はステンレス製架台により海藻礁最上面からの距

離45 cmに固定されたデジタルカメラ（SONY製、Model : DSC-P1、総画素数：3.3 mega pixel）で撮影した。撮影された画像は画像処理ソフト（Adobe社製Photoshop）に取り込み、設置から203日目の2002年12月19日以降の画像について「色域指定」コマンドを使って調査日毎に特定の色域を選択し、紅藻類の被度を求めた。また、各試験礁の紅藻類被度について、Tukeyの多重比較による検定を行い、試験礁の組成・圧縮強度と紅藻類被度の関係について検討した。被度の検定は、各試験礁の画像を同様に9分割した後、各区画の被度を求め、2供試体上に試験区が18ずつ存在すると仮定して調査日毎に行った。

なお、円柱形の試験礁については、設置から707日目に海底の台座から取り外して持ち帰り、着生していたテングサの直立体数と各々の藻体長を測定した。

試験礁設置場所の環境調査 試験礁周辺の高藻相と生育量を調べるため、差木地漁港内をスクーバ潜水し、2002年6月27日には港内はほぼ全域における目視観察、2002年12月19日、2003年4月15日、および2003年7月11日には枠取り調査を行った。枠取り調査では各回とも任意に選択した1 m²（1 m×1 m 方形枠）内の海藻を試験礁の周囲の岩礁上から採集し、実験室に持ち帰り、脱水機で5分間脱水の後、種の同定と湿重量の測定を行った。差木地漁港の海底は転石交じりの砂の底質であった。試験礁周辺の水温および塩分は、メモリー式の水温塩分計（アレック電子社製ACT-HR）を差木地漁港内の海底に固定して測定した。ただし、2002年5月31日～11月26日、2003年4月18日～6月2日および2003年8月22日～12月10日の間は測器が未設置あるいは故障のため欠測となっている。この期間の水温を補完するために、差木地漁港から約2 kmの東方にある波浮港口における海面水温データ（デジタル温度計；村山電気 Handy Thermo D-54）を参照した。

結 果

組成・圧縮強度別試験礁の目視観察による追跡調査
海中設置後における試験礁の目視観察状況は次の通りであった。

設置 20 日目 (2002 年 6 月) には, 7 種類すべての礁において珪藻類がほぼ全面を覆っていた。

74 日目 (2002 年 8 月) には, 7 種類すべての礁において無節サンゴモ類がほぼ全面に観察され, 無節サンゴモの上にアオサ類と珪藻類が繁茂していた。また, 14 礁中 4 礁 (VA1-2, VA2-2, VAS1-1, VAS2-1) は裏返しになっていたため元の状態に戻したが, これらの礁における海藻着生量は他のものに比べて少なかった。なお, 裏返しになっていなかった試験礁および台座の上面のほぼ全面に約 5 mm 以下の厚さで砂の堆積が見られた。

102 日目 (2002 年 9 月) には, 7 種類すべての礁においてアオサ類の着生量が減少していた。一方, 微細な糸状紅藻類が繁茂していた。なお, この日以降, 各調査日において, 全ての試験礁および台座の上面のほぼ全面に約 5 mm 以下の厚さで砂の堆積が見られた。

140 日目 (2002 年 10 月) には, 10 月 1 日に接近した台風 21 号による時化の影響で, 礁全体あるいは礁の一部が砂中に埋没したため, 掘り出し作業を行った。全体が埋没していた試験礁は, VA1-2, VA3-2, VAS2-1, C-1 の 4 礁, 一部が埋没した試験礁は, VA2-2, VAS1-2 の 2 礁であった。埋没部分の海藻は白化し, 着生海藻が著しく減少していたが, 非埋没部分の海藻着生状況は前回調査時と比べて顕著な変化は認められなかった。

203 日目 (2002 年 12 月) には, すべての礁において紅藻類, 特にトゲイギス *Centroceras clavulatum* とフシツナギ *Lomentaria catenata* の着生が目立った。その他にはアオサ類等が見られた。なお, この日以降, 全調査日において, 試験礁には紅藻類が, 緑藻類および褐藻類に対して明らかに優占して着生していた。

251 日目 (2003 年 2 月) には, 14 礁中 3 礁 (VAS2-2, VAS3-2, C-2) でマクサの着生を確認できた。また, マクサの株数は各礁とも 1 株で, 着生箇所は稜角 (Fig. 2a), および側面の部分であった。なお, 着生量が多い海藻はトゲイギスとフシツナギであり, その他にはアオサ類, サイダイバラ *Hypnea saidana*, トサカマツ *Prionitis crispata*, 有節石灰藻類等が見られた。

320 日目 (2003 年 4 月) には, 試験礁に着生したマクサは明らかに生長していたが, 株数には変化がなかった。また, フシツナギが大きく生長していた。その他にはアオサ類, トゲイギス, スギノリ *Gigartina tenella*, トサカマツ, 有節石灰藻類等が見られた。

404 日目 (2003 年 7 月) には, 試験礁に着生したマ

クサは明らかに生長していたが, 株数には変化がなかった。また, 前回の調査で大きく生長していたフシツナギの着生量が著しく減少していた。その他には, アオサ類, トサカノリ *Meristotheca papulosa*, スギノリ, ツノムカデ *Prionitis cornea*, トサカマツ, 有節石灰藻類等が見られた。

468 日目 (2003 年 9 月) には, 試験礁に着生しているマクサはほとんど生長していない様子で, 株数にも変化がなかった。また, マクサの表面は珪藻類や糸状緑藻類に覆われていた。その他には, スギノリ, ツノムカデ, トサカマツ, 有節石灰藻類等が見られた。

560 日目 (2003 年 12 月) には, 前回調査時にマクサの表面に着生していた珪藻類や糸状緑藻類は減少しており, 新たに 2 試験礁 (VA1-1, VA2-1) でマクサの着生が確認され, マクサの着生する試験礁が 5 礁となった。VA1-1, VA2-1 におけるマクサの株数は各礁 1 株で, 着生箇所はいずれも稜角であった。また, すでに着生しているマクサはほとんど生長していない様子であり, VAS3-2, C-2 では, 株数にも変化がなかった。一方, VAS2-2 では, 新たにマクサの着生が確認され, この礁におけるマクサの株数が 2 株となった。なお, 全ての礁において, トゲイギスと有節石灰藻類の着生が目立った。

648 日目 (2004 年 3 月) には, 試験礁に着生したマクサは明らかに生長していたが, 株数に変化は無かった。その他にはフシツナギ, トゲイギス, トサカノリ, スギノリ, 有節石灰藻類等が見られた。また, この時点において, テングサの着生している試験礁は組成および圧縮強度が異なる 5 礁であり, 株数も 4 礁が 1 株, 1 礁が 2 株と少ないため, 組成および圧縮強度によるテングサの着生状況の比較が困難と判断し, 追跡調査を終了した。

なお, 今回, 台座等, 試験礁以外の部分については, テングサの着生量の調査は行わなかったが, 設置後, 台座の稜角や側面, 試験礁移設用の金具, 識別用のタグなど, 水平面でないところや不安定に動揺する場所にマクサの着生が見られた (Fig. 2b)。また, 各試験礁の表面形状については明らかな変化は認められなかった。植食動物については試験礁上および試験礁周辺においてメジナ類やクボガイ類が観察されたが, 個体数に関して, 特定の試験礁への偏りは認められなかった。なお, これらの生物による海藻の被食状況については調査を行わなかったため不明である。

紅藻類の被度の推移 今回, 組成・圧縮強度によるテングサの着生量の比較は困難であった。一方, 目視観察によれば, 203 日目 (2002 年 12 月) 以降, 全ての試験礁において, 紅藻類が緑藻類および褐藻類に対して優占して着生しており, また, 各試験礁に着生した紅藻類の

Fig. 2 Experimental blocks on the 251st day (a), and the 648th day (b) after being installed on a concrete mound. A: *Gelidium elegans* growing on an edge of the block (VAS3-2).

種には顕著な違いは認められなかった。そこで、試験礁上面の画像から求めた紅藻類の被度の比較を行い、本試験終了後に行った円柱形の火山灰ブロックの材料組成を決める際の参考とした。

紅藻類の被度の変化についてみる。試験礁上面の画像に含まれる紅藻類は、目視観察から、マクサ、トゲイギス、フシツナギ、スギノリ、トサカノリ、トサカマツ、ツノムカデ、サイダイバラ等であったと考えられた。2002年12月19日（203日目）以降における試験礁上面の紅藻類の被度を Table 2 に示した。

紅藻類の被度は、203日目（2002年12月）は7.0～12.5%の範囲、251日目（2003年2月）は20.5～28.1%の範囲で、この間、被度が上昇傾向にあった。一方、両日とも試験礁間で有意差は無かった。320日目（2003年4月）は11.9～29.3%の範囲であり、VA3, VAS2, VAS3では被度が増大、VA2, Cでは横ばい、VA1, VAS1では低下した。また、VA1, VAS1の被度は、VAS2, VAS3, Cの3礁に対して有意に低かった

Fig. 4 Columnar volcanic ash blocks on the 7th day (a) and the 707th day (b) after being installed on a concrete mound.

($P < 0.05$)。404日目（2003年7月）から468日目（2003年9月）の間では、被度が1.6～15.2%の範囲であり、すべての礁において、320日目と比較して低下傾向であった。また、468日目では、コンクリートブロックCの被度がVAS3以外の5種類の礁に対して有意に高かった($P < 0.05$)。560日目（2003年12月）では紅藻類の被度は11.8～24.2%の範囲となり、すべての礁で増大しており、コンクリートブロックCの被度がVA1, VAS2の2礁に対して有意に高かった($P < 0.05$)。648日目（2004年3月）では紅藻類の被度は14.1～50.2%となり、VA2およびVAS1では横ばいであったが、他の礁では増大した。また、コンクリートブロックCの被度はVAS2以外の5種類の礁に対して有意に高かった($P < 0.05$)。

以上、組成・圧縮強度別試験礁における海藻着生状況に関する定量的な調査は試験礁上面の紅藻類被度の画像解析だけしか行わなかったが、目視観察によれば、試験礁側面および台座の側面における（マクサを含む）紅藻類の被度は試験礁上面と比較して明らかに高かった

Table 2 Temporal change in the red algae coverage of each experimental block(mean $\pm$ S.D., $n = 18$)

Material composition of experimental block	Block No.	Compressive strength (kgf/cm ²)	Coverage of red algae (%)						
			2002.12.19	2003.2.5	2003.4.15	2003.7.8	2003.9.10	2003.12.11	2004.3.8
Volcanic ash, Cement, Water	VA1	6.1	10.5 $\pm$ 7.1 ^a	24.0 $\pm$ 9.6 ^a	11.9 $\pm$ 11.8 ^a	4.4 $\pm$ 2.5 ^a	4.4 $\pm$ 2.3 ^a	11.8 $\pm$ 7.7 ^a	16.2 $\pm$ 13.2 ^a
	VA2	38.7	7.0 $\pm$ 5.4 ^a	20.9 $\pm$ 9.6 ^a	20.4 $\pm$ 16.6 ^{a,b}	9.2 $\pm$ 13.5 ^a	2.0 $\pm$ 2.5 ^a	15.4 $\pm$ 10.8 ^{a,b}	14.1 $\pm$ 10.4 ^a
	VA3	201.9	8.3 $\pm$ 6.2 ^a	20.5 $\pm$ 6.8 ^a	23.8 $\pm$ 21.0 ^{a,b}	9.0 $\pm$ 5.2 ^a	1.6 $\pm$ 3.3 ^a	19.8 $\pm$ 6.4 ^{a,b}	24.3 $\pm$ 16.8 ^a
Volcanic ash, Cement, Scoria, Water	VAS1	31.6	9.5 $\pm$ 7.8 ^a	27.3 $\pm$ 5.6 ^a	13.9 $\pm$ 7.9 ^a	8.3 $\pm$ 5.3 ^a	5.7 $\pm$ 6.0 ^a	18.6 $\pm$ 8.3 ^{a,b}	17.3 $\pm$ 15.6 ^a
	VAS2	96.9	12.1 $\pm$ 9.6 ^a	20.5 $\pm$ 7.9 ^a	29.3 $\pm$ 10.7 ^b	8.1 $\pm$ 5.4 ^a	3.7 $\pm$ 3.5 ^a	13.0 $\pm$ 10.0 ^a	32.8 $\pm$ 21.4 ^{a,b}
	VAS3	221.3	12.5 $\pm$ 10.1 ^a	24.3 $\pm$ 6.2 ^a	29.6 $\pm$ 12.0 ^b	6.1 $\pm$ 5.7 ^a	8.8 $\pm$ 9.1 ^{a,b}	18 $\pm$ 13.8 ^{a,b}	24.4 $\pm$ 21.3 ^a
Concrete	C	147.9	11.0 $\pm$ 8.7 ^a	28.1 $\pm$ 6.9 ^a	28.8 $\pm$ 14.4 ^b	6.5 $\pm$ 4.3 ^a	15.2 $\pm$ 16.8 ^b	24.2 $\pm$ 11.2 ^b	50.2 $\pm$ 29.4 ^b

Vertical (a, b) values between different blocks not sharing the same superscript letters are significantly different ($P < 0.05$) **Fig. 3** Changes in the monthly averages of water temperature and salinity. ○: water temperature at Habu harbor, ▲: water temperature at Sashikiji fishing harbor, ■: salinity at Sashikiji fishing harbor.

(Fig. 2b)。

試験期間中の水温、塩分および試験礁周囲の海藻相 2002年5月から2004年3月にかけての差木地漁港の月別平均水温と塩分および波浮港口の月別平均水温をFig. 3に示した。差木地漁港と波浮港口の水温変動はよく合致しており、差木地漁港の欠測期間中の水温は、波浮港口と大差ないと考えられたので、差木地漁港の月別平均水温の最低値は2004年2月の14.7°C、最高値は2002年9月の約25.4°C、平均値は約19.8°Cとみなした。また、差木地漁港の塩分は、2002年11月から2003年6月までの間は32.6～33.3 psuの範囲であった。ただし、2003年8月には急激な低下が見られ、平均29.5 psuを示した。

Table 3に、2002年6月27日に目視観察された海藻種および試験期間中3度実施した1 m² 枠取り調査の結果を示す。枠取り調査で採取された種にはその湿重量(g)を示した。目視観察により、差木地漁港内において44種の海藻が確認され、テングサ(マクサ、オオブサ)は転石、岩礁上、漁港岸壁など、ほぼ漁港内全域で

観察された。また、マクサは主に転石や岩礁上に、オオブサは主に漁港岸壁に着生が認められた。なお、3回の枠取り調査における紅藻類の湿重量は総重量の99.9～100%であり、その内マクサは67.0～94.5%を占め、常に最大であった。

円柱形の試験礁へのテングサの着生 組成・圧縮強度別試験礁において、側面や稜角およびその他の突起物にマクサの着生が観察されたことから、火山灰およびコンクリートを用いて鉛直面の多い試験礁、すなわち円柱形火山灰ブロックと円柱形コンクリートブロックを製作してテングサの着生について調査した。円柱型火山灰ブロックの材料組成は、組成・圧縮強度別試験において、火山灰やスコリアを用いた6種類の試験礁の紅藻類被度に2003年4月以外は有意差が認められなかったことから、VA3の場合と同様の1種類とした。その結果、設置707日目(2007年7月)には、いずれのタイプのブロックでも鉛直面にオオブサの着生が確認された(Fig. 4)。オオブサは円柱形火山灰ブロックでは8本中3本のブロックに合計8株(平均藻長9.5 cm)、円柱形コンクリートブロックは8本中3本のブロックに合計10株(平均藻長10.7 cm)着生し、円柱形火山灰ブロックへのオオブサの着生量は円柱形コンクリートブロックよりも僅かに少ない程度であった。

考 察

試験礁設置場所の環境とテングサの生育への影響 組成・圧縮強度別試験期間中の差木地漁港の月別平均水温をみると、最低値は2004年2月の14.7°C、最高値は2002年9月の約25.4°C、平均値は約19.8°Cであった。片田⁸⁾によれば、マクサの発芽体を12.1°Cから34.3°Cの間の各段階で4日間培養試験を行った結果、28°C以上はほとんど枯死し、24～25°Cが好適であったとされている。したがって、今回の調査期間内の水温は、試験礁におけるマクサの着生に障害のない値を示していたと

Table 3 Marine algae observed and collected in a quadrat (1 × 1 m) in Sashikiji fishing harbor

Class	Species observed in Sashikiji fishing harbor (2002.6.27)	Wet weight of algae collected from quadrat (g)		
		2002.10.19	2003.4.15	2003.7.11
Chlorophyceae	<i>Ulva pertusa</i>			
	<i>Caulerpa subserata</i>			
	<i>Codium adhaerens</i>			
Phaeophyceae	<i>Dictyota dichotoma</i>			
	<i>Spatoglossum pacificum</i>			
	<i>Dilophus okamurae</i>			
	<i>Dictyopteris prolifera</i>			
	<i>Zonaria diesingiana</i>			
	<i>Leathesia difformis</i>			
	<i>Colpomenia sinuosa</i>			
	<i>Eckloniopsis radicata</i>			
	<i>Sargassum macrocarpum</i>			
	<i>S. micracanthum</i>	0.7		
Rhodophyceae	<i>Galaxaura fastigiata</i>			
	<i>G. falcata</i>			
	<i>Asparagopsis taxiformis</i>			
	<i>Delisea fimbriata</i>			
	<i>Gelidium elegans</i>	468.4	746	507.1
	<i>G. pacificum</i>			
	<i>Chondrococcus japonicus</i>			
	<i>Lithothamnium picleum</i>			
	<i>Amphiroa dilatata</i>			
	<i>Marginisporum crassissimum</i>			
	<i>Grateloupia elliptica</i>		12.3	
	<i>G. imbricata</i>			
	<i>Prionitis crispata</i>			39
	<i>P. cornea</i>	24.1	11	177.1
	<i>P. divaricata</i>			11.8
	<i>P. angusta</i>			
	<i>Callophyllis adhaerens</i>	1.9		
	<i>Meristotheca papulosa</i>			22.2
	<i>Plocamium telfairiae</i>	0.6		
	<i>Hypnea japonica</i>			
	<i>H. saidana</i>			
	<i>Chondracanthus tenellus</i>			
	<i>Chondrus ocellatus</i>			
	<i>Lomentaria catenata</i>			
	<i>Champia parvula</i>			
	<i>Griffithsia subcylindrica</i>			
	<i>Ceramium paniculatum</i>			
	<i>Centroceras clavulatum</i>			
	<i>Acrosorium yendoii</i>			
	<i>Scinaia okamurae</i>		25.7	
	<i>Ahnfeliopsis yamadae</i>		20.5	
Total weight of algae collected from quadrat (g)		495.7	815.5	757.2

考えられた。また、月別平均塩分は、2003年8月に急激な低下（29.5 psu）が見られたのを除き、32.6～33.3 psu の範囲であった。山崎⁹⁾によれば、マクサは、かな

り発芽の進んだ発芽体は低比重海水に弱く、淡水が海水の5分の1位混入する状態では枯死するようであるとされており、今回観測された塩分値は、急激に低下した

2003年8月を含め、試験礁へのマクサの着生に障害にならなかったと考えられた。さらに、3回の海藻の採取調査において、各回とも最も多く出現したのがマクサであった (Table 3)。これらのことから、試験期間中、差木地漁港内の環境はマクサの着生および生育に適していたと考えられる。

一方、今回、試験礁へのマクサの着生は僅かであった。大須賀, 岩橋¹⁰⁾は、静岡県白浜地先に投石した1m平方のコンクリートブロックの垂直面や平面にはテングサ (マクサ, オバクサ *Pterocladia capillacea*) の着生は非常に少ないが、同じブロックでも海底で傾いたものの斜面において非常に着生が良かったとしている。組成・圧縮強度別試験礁 (L30×W30×H5 cm) は水平面と垂直面から成り、海底に対してなるべく水平になるように設置した。これらのことから、マクサの着生が僅かであった一因として、試験礁の形状がマクサの着生に適していなかった事が考えられた。また、試験礁におけるマクサの着生箇所は稜角や側面であり、試験礁および台座の側面における (マクサを含む) 紅藻類の被度も、試験礁上面と比較して明らかに高かった。テングサの繁殖に影響を与える環境条件としては、潮流の動き、水温、海水の動き、その他塩分、栄養塩、光などが考えられる⁹⁾が、試験礁の稜角や側面は、上面と比較して海水の動きや光条件がマクサの着生に適していた可能性があると考えられた。

なお、74日目 (2002年8月) に転覆していた試験礁 (VA1-2, VA2-2, VAS1-1, VAS2-1), および140日目 (2002年10月) に埋没していた試験礁 (VA1-2, VA3-2, VAS2-1, C-1) が完全埋没、VA2-2, VAS1-2 が一部埋没) には試験期間を通してテングサの着生が確認できなかったが、これが転覆や埋没の影響によるものかどうかは、テングサの着生した試験礁における着生数が少なく、また、転覆および埋没していない2礁 (VA3-1, VAS3-1) にテングサの着生が確認できなかったため不明である。

組成・圧縮強度別試験礁の性質とテングサ着生状況の関係 組成・圧縮強度別試験礁へのテングサの着生は、目視観察によれば、設置から251日目 (2003年2月) に14礁中3礁 (VAS2-2, VAS3-2, C-2) でマクサを1株ずつ確認できた。その後468日目までは新たな着生は確認されず、560日目 (2003年12月) に3礁 (VA1-1, VA2-1, VAS2-2) で新たにマクサが1株ずつ確認された。また、これらすべてのマクサの着生箇所は稜角や側面であり、追跡調査を終了した648日目 (2004年3月) まで枯死することなく生長した。しかしながら、マクサの着生した試験礁は、組成および圧縮強度が異なる5礁であり、また、着生数は4礁が1株、1礁が2株と少なく、組成や圧縮強度の違いとテングサの着生状況

の関係は明確に現れなかった。

組成・圧縮強度別試験礁の性質と紅藻類被度の関係 組成・圧縮強度別試験終了後に製作した円柱形の火山灰ブロックの材料組成を決める際の参考とするため、組成・圧縮強度別試験礁上面の画像から求めた紅藻類の被度の比較を行った。その結果、コンクリートブロックCの被度は、468日目 (2003年9月) 以降、7種類中常に最大であり、2003年9月はVAS3以外の5種類の礁に対して、2003年12月はVA1, VAS2に対して、2004年3月はVAS2以外の5種類の試験礁に対して有意差が認められた ($P<0.05$)。一方、火山灰やスコリアを用いた6種類の試験礁の被度には、2003年4月以外、有意差が認められなかった。また、今回、一部の試験礁で転覆 (2002年8月)、埋没 (2002年10月) が起きているが、2002年12月、および2003年2月において、各試験礁間における紅藻類被度に有意差が無かったことから、影響は軽微であったと推察される。これらのことから、火山灰を使用したブロックは、概して、コンクリートブロックよりも紅藻類の被度が低く、また、本試験における組成や圧縮強度の範囲 (6.1~221.3 kgf/cm²) においては、紅藻類の被度に差は出ないものと考えられた。

火山灰を使用したブロックが、コンクリートブロックよりも紅藻類の被度が低い原因は今のところ明確ではない。若杉ら¹¹⁾は三宅島火山灰から溶出する硫黄化合物について調べ、1gの火山灰から0.0116gの硫酸イオンが溶出すると報告している。火山灰を使用した試験礁からも硫酸イオンの溶出は考えられるが、火山灰そのものよりは少ないと考えられる。火山灰を使用したブロックで紅藻類の被度が低かった理由として、この微量の硫酸イオンが着生や生長に影響した可能性もある。今後、検討しなければならない。

円柱形火山灰ブロックへのテングサの着生 組成・圧縮強度別試験において、火山灰を含むブロックにおける紅藻類の被度は、圧縮強度6.1~221.3 kgf/cm²の範囲では有意差が無く、コンクリートブロックとの比較では有意に低かった。また、マクサはブロックの稜角、側面、および試験礁移設用の金具などの突起に多く着生することがわかった。これらの結果を基に、円柱形火山灰ブロックを製作し、テングサの着生を検討した結果、鉛直面にオオブサが多数着生した。また、着生量は円柱形コンクリートブロックをやや下回る程度であった。すなわち、円柱形の火山灰ブロックは、コンクリートブロックと同様に、テングサを生育させるための海藻礁として使用できる可能性が高いと考えられた。一方、円柱形火山灰ブロックに着生したテングサは、先に設置した試験礁とは異なり、オオブサであった。この一因としては、静岡県稲取町地先のマクサ、オオブサと、千葉県小湊町

地先のマクサを観察した結果、生殖細胞の形成及び成熟の時期は個々によって違っていたとの殖田⁷⁾の報告を参考とすれば、先に設置した試験礁との設置時期の違いが影響した可能性があると考えられた。

火山灰を利用した海藻礁のテングサ礁としての評価以上のことから、三宅島の荒廃したテングサ漁場の再生を目的とした海藻礁の材料として、火山灰を利用できる可能性は高いと考えられた。一方、三宅島では現在も火山灰を含んだ泥流が周辺海域へ流出しており、テングサ漁場には多量の海中懸濁粒子および海底堆積粒子が存在する¹²⁾。今後は、このような条件下において、テングサの着生、生育が可能な火山灰ブロックについて検討していくことが課題である。粒子の堆積がテングサの着生に及ぼす影響に関する報告は無いが、褐藻類のアラメ *Eisenia bicyclis* やカジメ *Ecklonia cava* においては、粒子の堆積が遊走子の着生を阻害することが知られている。^{13,14)} また、今回、組成・圧縮強度別試験礁において、テングサの着生が確認できなかった上面部分は、稜角や側面部分と比較して砂の堆積量が明らかに多かった。したがって、砂等の堆積粒子がテングサの着生に与える影響について明らかにすることが必要である。また、今回、形状と設置時期が異なる2回の試験において、着生するテングサの種が違ったことから、マクサ、およびオオブサの着生に適した基質の形状、および着生基質の設置時期についても検討する必要がある。さらに、火山灰を利用した海藻礁における海藻の遷移を長期間調査していくことも、耐久性を含めた効果を明らかにする上で重要であると考えられる。

謝 辞

三宅島における火山灰の採集に関して、ご協力ご配慮いただいた、東京都三宅支庁産業課（現所属、東京都小笠原支庁産業課）永坂彰氏、東京都水産課（現所属、東京都大島支庁産業課）小島修氏に深堪なる謝意を表しま

す。また、海藻類の同定をしていただいた東京海洋大学大葉英雄博士、研究内容に関する助言や野外調査に協力していただいた東京都島しょ農林水産総合センター職員の方々に深堪なる謝意を表します。

文 献

- 1) 河西一彦. 昭和58年三宅島噴火災害漁場調査報告書. 東京都水産試験場調査研究要報 1988; **195**: 1-83.
- 2) 米山純夫. 三宅島噴火災害漁場調査 I (被害状況の把握). 事業成果速報 (平成13年). 東京都水産試験場, 東京. 2002; 11.
- 3) 川辺勝俊. 平成17年三宅島磯根資源調査-3 (マクサモニタリング調査). 事業成果速報 (平成17年). 東京都島しょ農林水産総合センター, 東京. 2006; 81.
- 4) 東京都の水産 (平成11年版). 東京都労働経済局農林水産部水産課, 東京. 2002; 42-46
- 5) 東京都の水産 (平成18年版). 東京都産業労働局農林水産部水産課, 東京. 2007; 125-126
- 6) 土質試験の方法と解説. 土質工学会, 東京. 1990; 43.
- 7) 殖田三郎. テングサの増殖に関する研究. 日水誌 1936; **5**: 183-186.
- 8) 片田 実. テングサの増殖に関する基礎的研究. 水講所研報 1955; **5**: 1-87.
- 9) 山崎 浩. テングサ類増殖に関する基礎的研究. 静岡水試研報 1962; **19**: 2-90.
- 10) 大須賀穂作, 岩橋義人. 形の異なるコンクリートブロックによるテングサの着生試験. 静岡水試研報 1966; **31**: 1-6.
- 11) 若杉幸子, 田中美穂, 前田 勝. 三宅島火山灰から水に溶出する硫黄化合物の同定と定量および環境に及ぼす影響. 分析化学 2003; **52**: 997-1003.
- 12) H. Arakawa, Y. Nakayama, T. Morinaga. Distribution and behavior of high turbidity water on the shallow sea area around Miyake-shima Island. *La mer*. 2007; **45**: 23-34.
- 13) 荒川久幸, 松生治. 褐藻類ワカメ・カジメ遊走子の着生と成長, 生残および成熟におよぼす海中懸濁粒子の影響. 日水誌 1992; **58**: 619-625.
- 14) H. Arakawa. Lethal effects caused by suspended particles and sediment load on zoospore and gametophyte of the brown alga *Eisenia bicyclis*. *Fish. Sci.* 2005; **71**: 133-140.