

【視察記】流れ藻シリーズ③ 藻場回復の切り札！ リーフボール製造会社を訪ねて

— まち工場の挑戦；藻場再生に取り組む株朝日テック —

技術士（衛生工学・建設・環境）・甲種危険物取扱者
環境計画センター 会長代行 **鍵谷 司**

はじめに

防災対策の一環として沿岸部には、コンクリート製堤防が延々と築かれ、海中には、テトラポットなどのコンクリート製波消しブロックが膨大に設置されてきた。その結果、高波や津波による災害を軽減し、安全な生活環境を確保できたことは言うまでもない。しかしながら、コンクリートのアルカリ成分が海水に溶出し、アルカリ性が大きくなると推測されるが、海への影響についてはほとんど検討されていない。未だに、pH変化が小さいことなどから影響は軽微との認識が強い。とくに、藻場は、海洋生物の生育に必要不可欠な生活・餌場である。海の生体を支える藻場の消失が急速に進んでおり、大きな社会問題の一つになっており、その原因の一つにコンクリートからのアルカリ溶出の影響が懸念されている。

これまで発表した流れ藻シリーズ関連の報文を以下に記載する。

- ①鍵谷 司；コンクリート海岸構造物から流出する成分が藻場に及ぼす影響；第20回海の森づくりオンラインシンポジウム；海の森づくり推進協会 会誌3号（2022）
- ②鍵谷 司；流れ藻シリーズ① 磯焼けと藻場回復の取り組み - 第20回海の森づくりシンポジウムに参加して！；環境施設、第171号、pp.68-74（2023.3）
- ③鍵谷 司；流れ藻シリーズ② 波消しブロック - コンクリートからアルカリ成分が溶出するメカニズムとは！（I） -；環境施設、第175号、pp.68-74（2024.3）
これらは、いずれも藻場消失現象である「磯焼け

け」が、海水にわずかながら溶解するコンクリートのアルカリ成分が原因ではないかと想定し、科学的な論理を展開してきた。つまり、海藻類は、植物であり、海中に溶けた二酸化炭素を吸収し、光合成により繁茂する。光合成を行うためには、窒素やリン以外に極微量の溶解性鉄が必須である。しかし、アルカリ性が強くなると溶解性鉄（二価）は不溶性鉄（三価）に酸化されて沈殿・除去され、溶解性の鉄イオン不足に陥ると考えられる。

従来の磯焼け対策は、水産庁の「磯焼け対策ガイドライン」に則り、海藻の消失は、ウニや植食性魚類の藻食動物による過渡な摂食によるとの見解に基づいて、試験区内を網で囲んで食植魚類の進入を防止する、あるいは網内のウニを除去するなどの対策を講じてきた。が、区域内の藻場は回復するが、区域外への拡大はほとんど認められない。また、藻場回復を促進するために藻礁の形状を工夫しているが、大きな効果は認められていないのが実態である。なお、コンクリートから溶出するアルカリの影響は、公的には未だ認められていない。

ところが、様々なコンクリート製藻礁が開発されているが、なかでもアルカリの溶出防止及びフルボ酸鉄等を含むあるいは表面加工した藻礁が、藻場再生に大きな効果が得られていることが注目されている。もともとサンゴ礁の再生に取り組んだ技術を転用したものとされているが、フィールドで藻場再生に大きな効果が確認されている。これを開発したまち工場が長崎の株朝日テック（池田 修社長）である。2024年4月21日に見学する機会が得られたので、製造・保管現場を見学させ

ていただくとともに、今後の計画等について意見交換をさせていただいた。視察時の様子を写真1～写真6に示す。

これまで、コンクリート構造物の藻礁からアルカリ成分がわずかながら海水に溶出することにより、海藻の光合成に必須の溶解性鉄が除去（アルカリが強くなると鉄の溶解度が小さくなる）されるので、溶解性鉄が不足し、これが磯焼けの原因の一つと考え、アルカリ流出抑制と鉄イオンの供給が必要であると考察し、寄稿してきた。

ところが、まち工場の(株)朝日テックが、アルカリ中和剤、栄養塩及び溶解性鉄（フルボ酸鉄）を混合したコンクリート藻礁を製造し、さらに表面にこれらのフルボ酸鉄（キレート）等を吹き付けた藻礁（登録商標：リーフボール）を開発し、フィールドにおいて藻場再生に大きな効果が確認できたのである。

つまり、理論と実践が結びついた合理的な技術として実用化したのである（特許取得2023.3）。このことは、これまでの試行錯誤による改善・改良から理論に基づいた新規の藻場回復技術が実用化できることを意味し、磯焼け対策の切り札として発展することが期待される。

以下に、磯焼け状態の藻場の再生に成功したまち工場の挑戦について紹介する。

1. まち工場の挑戦；(株)朝日テック ～藻場再生の切り札、リーフボールの開発、製造、販売、設置等～

2024年4月21日（日曜日）に訪問した。日曜日なので、作業を行っていなかったが、製造した大小様々なリーフボールが保管されており、各種実験水槽、あるいは藻場再生に必要なフルボ酸鉄等の水質改善剤などについて説明していただいた。なお、長崎県壱岐市で(株)朝日テックの代理店としてリーフボールによる磯焼け対策に取り組んでいる、一般社団法人マリンハビタット壱岐の代表理事・田山久倫氏にも同席していただいた。

(株)朝日テックの本社工場内には、様々な大きさのリーフボールが保管されていた。ミニチュアか

ら1.8トンの大型藻礁、あるいはリーフボールに練り込みや表面に塗布した栄養塩やフルボ酸鉄を固めた固化剤、塗布用の溶液など、フィールドで安価で、使いやすいように改良した製品がすでに開発されていた。

[会社概要]

- 代表者：代表取締役 池田 修
- 資本金：1,000万円
- 設立：1966年（昭和41年）4月
- 従業員数：12人
- 本社：〒850-0976 長崎市毛井首町506番地
TEL：095-878-5710／FAX：095-878-5436
E-mail：asahi506@ngs2.cncm.ne.jp
公式サイト：https://asahitech.jimdosite.com

[事業内容；環境関連開発事業部]

日米の画期的な技術応用による人工礁（ハイブリッド型リーフボール）で、磯焼けにより砂漠化した沿岸砂地の藻場造成事業に取り組んでいる。米国リーフボール財団は、最も持続可能な製品の環境ノーベル賞と言われる世界のKaterva Awardを2020年に受賞した。また、サンゴ、ロブスター、マングローブなどの育成を世界75ヵ国で成功している。また、米国リーフボール財団と技術契約を交わし、リーフボールJAPANを特許庁に登録した。実証実験の結果から、新しい藻場材質として期待されており、施肥の効果も実証されている。

[公的認定等]

- ① ISO9001:2015取得・SDGs；ISO9001は国際標準化機構が発行した品質マネジメントシステムの国際規格で、組織のマネジメントに関する規格である。SDGsは、持続可能な開発を推進するための17の目標と169のターゲットから構成されており、当該事業所は、SDGs認定機構により認定事業所として17項目中、②（飢餓をゼロに）、⑨（産業と技術革新の基礎をつくろう）、⑬（気候変動に具体的な対策）、⑭（海の豊かさを守ろう）の達成を目標としている。

【視察時の様子】



写真1 まち工場「朝日テック」入口

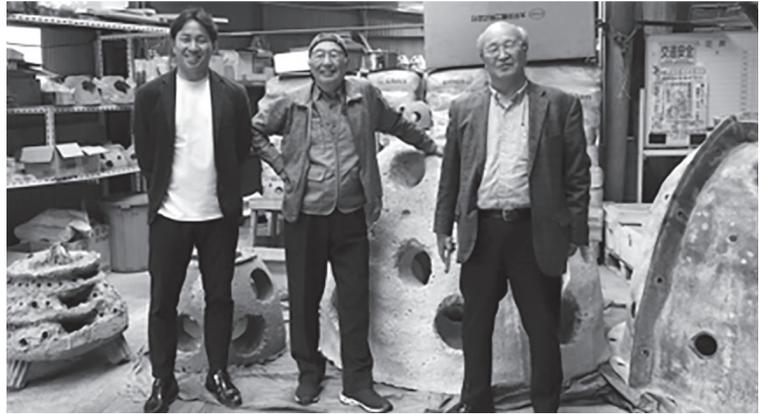


写真2 工場内で田山氏、鍵谷、池田社長



写真3 リーフボールの特徴を池田社長より説明

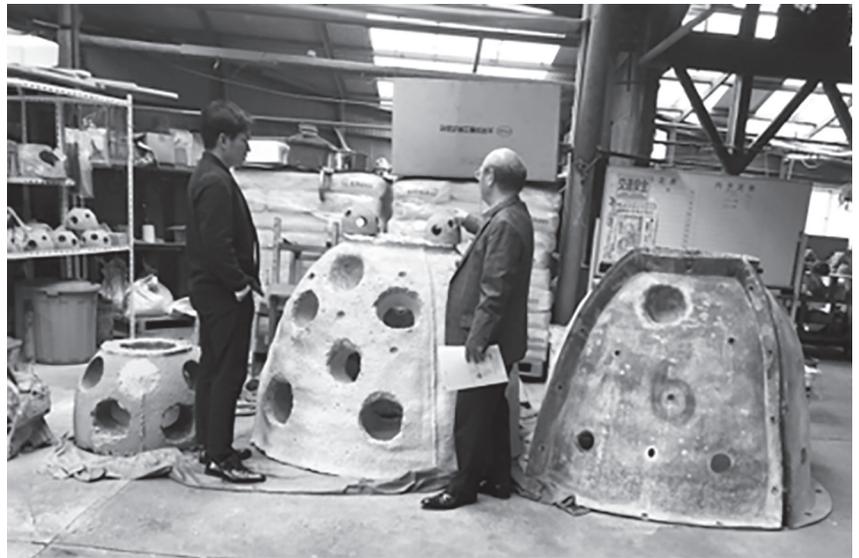


写真4 田山代表と池田社長



写真5 大小様々なリーフボール

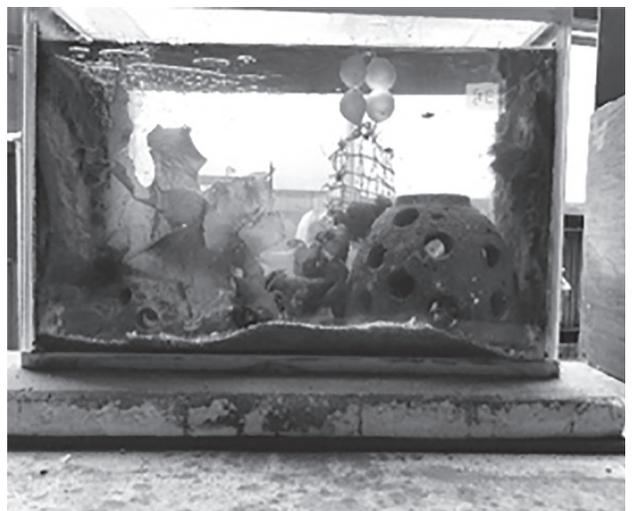


写真6 水槽内でのリーフボールの実験

- ②2020年2月7日、同社が製造・販売しているリーフボール（藻礁）の商標登録を完了（写真7）。
- ③2020年5月、米国リーフボール財団はロイター通信が「ノーベル持続可能性賞」と呼んでいるKaterva award（カテルヴァ賞）の環境・エネルギー部門賞を受賞（写真8）。
- ④2022（令和4）年2月、長崎市より優れモノ認

- 証品としてリーフボール藻礁が認証（写真9）。
- ⑤2023年3月、国内特許取得（写真10）。
- ⑥2023年10月、国際特許（PCT）。
- ⑦2024年4月、国交省・新技術情報提供システム（NETIS）への登録内定；民間事業所等により開発された有用な新技術を公共工事等において積極的に活用・評価し、技術開発を促進していくためのシステム（2001年度より運用）。



写真7 商標登録証

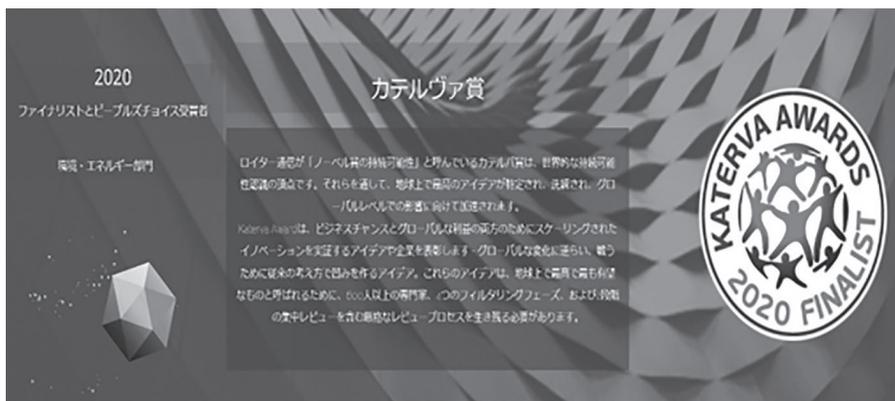


写真8 カテルヴァ賞を受賞



写真9 長崎市優れモノ認証



写真10 国内特許証

びに取り組み事例を公開されている資料より抜粋して紹介する。

(1) リーフボールの製造は！

アメリカにおいてサンゴ礁の保護を目的として開発された藻礁であり、基盤はコンクリート製ブロックであるが、藻場回復のため様々な工夫が施されている。工場内における製造風景を写真11に示す。製造手順は、次の通りである。

- ①リーフボールは、通常と同じセメント、砂利と小石を主成分として、これにアルカリ中和剤、栄養分やフルボ酸鉄を練り込んで（写真12）、型枠に流し込み、固化したあとに枠を外すと完成する。その形状は、大きなツボを逆さにした形で、横や上に穴が開いており、底部は丸く、広がっているため、安定している。海流は、この穴が通り道になり、力が分散され、そのままあるいは穴の上から通り抜け、力が分散される。このため、波による転倒や移動し難いので、設置後も安定している（写真13）。なお、穴の作

2. 藻場回復に成功した実践的な取り組み事例
～水溶性フルボ酸鉄と移設工法；池田 修（株朝日テック）～

工場視察時は、日曜日であったため、製造後の大小様々な藻礁ブロック「リーフボール」が保管されていたが、表面にアルカリ剤溶出防止およびフルボ酸鉄の吹付け加工作業を見ることはできなかった。

以下にYouTube動画や発表報文などを参考にして「リーフボール」が完成するまでの手順並

り方は、特許とのことである。

②完成品(写真13)にフルボ酸鉄などを吹き付けて表面処理する(写真14)。

③藻類の胞子が着床しやすいような粗い表面に加工されている(写真15)。

つまり、栄養塩とフルボ酸鉄を練り込んで内部から長期間にわたって供給するとともに、これらを吹付けることにより海藻類に必要な成分を高濃度で供給ができる。なお、リーフボールの形状や穴の大きさや位置は、特許である。

(2) 藻場の苗木の種苗づくり(移設工法)

陸地では、植林するにあたって種や接ぎ木などにより苗木を育て、これを所定の場所に植林して林や森林に育てる。海の森づくりも同様に藻礁に種を植え付けたロープ等を絡め、設置しやすい試験区で目的とする海藻類を育て、適切な成長時期などを見計らって所定のフィールドに移設する方

法が採用されている。これにより目的とする海藻類を早期に育成、繁茂させることができる。

①設置が容易な試験区で目的とする苗を育てる(写真16)。

②リーフボールに海藻類が繁茂した状態まで育てる(写真17)。

③藻場付着・育成したリーフボールを所定の海域へ移設する(写真18)。

(3) フィールドにおける藻場回復事例

上記写真は、種苗・育苗を終えたリーフボールを実証試験区に移設するまでの手順を説明したが、移設後のリーフボールの海藻群の成育・繁茂状況は、上記の写真とは必ずしも同じではない。リーフボールに付着・生育した海藻類は順調に育ち、場所により差異はあるが、1年程度でかなり生育し、藻場が回復したことが証明できたと報告されている。



写真11 工場内での製造風景



写真12 原料に栄養剤等を添加



写真13 完成したリーフボール



写真14 製造したリーフボールに鉄分等を噴霧



写真15 製造直後の色彩は茶色

鹿児島市長水路において実証試験中の育成に成功した事例では、春に沈設したリーフボールにはわずか6ヵ月後には、アオサとマメダワラがリーフボールに根付いていた。これを所定のフィールドに移設することにより、藻場が回復された事例

の一つである（写真19、写真20）。

3. 夢は！；海藻に覆われた波消しブロックの実現に向けて！

以上、紹介したようにリーフボールは、藻場再



写真16 リーフボールを沈設

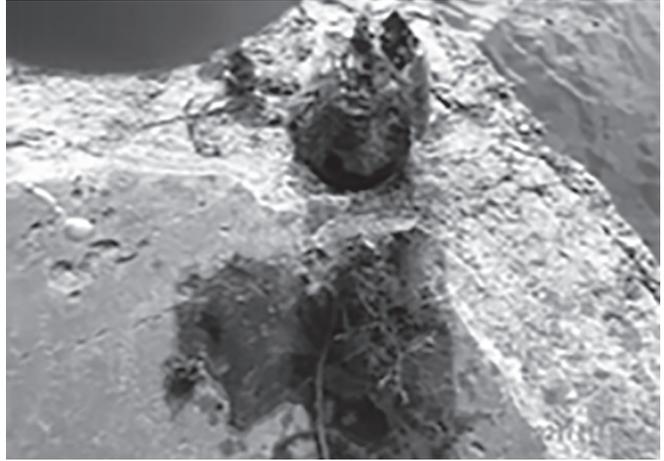


写真17 海藻類が繁茂した状態まで育てる



写真18 種苗・育苗のリーフボールを実証試験区に船で移設（令和4年5月28日移設）

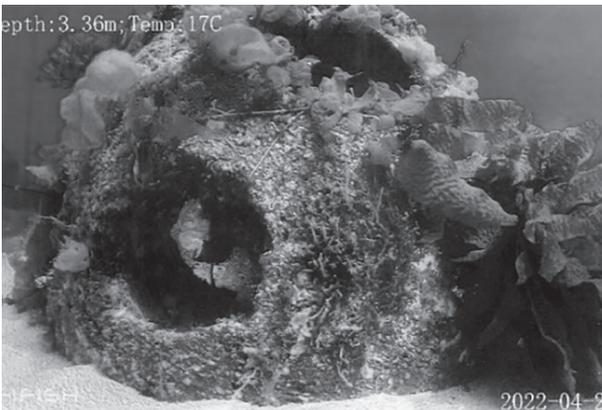


写真19 砂地のリーフボールに繁茂した海藻



写真20 水溶性フルボ酸鉄の効果を実証

生に大きな効果があることが、理論的にもフィールドにおける現場でもその有用性が検証されている。しかしながら、現場に設置しようとするときモジュールサイズでも重量は4～8kgであり、1個あたり数万円以上である。また、写真13にある大型のサイズでは、重量が180kgで1個あたり100数十万円である。移動するにしても設置するにしてもかなり大掛かりであり、簡単には採用できない。採用できるとすると漁業組合や養殖場等の漁業や収量に直接関係する業種に限られよう。

また、これまで、海への影響は確認できないとして膨大な数量のコンクリート製波消しブロックが設置されており、その影響を無視することは賢明ではない。水産業に対する影響は、鉄イオン不足以外にいくつか指摘されており、とくに、地球温暖化に係る海水温の上昇や二酸化炭素濃度の上昇に伴う海水の酸性化など複合して現れるので、原因は定かでない。

しかしながら、コンクリートからのアルカリ溶出抑制や溶解性鉄が供給できる藻礁の設置により藻場が再生している事例が確認されており、「原因不明」で終わらせてはならない。つまり、既存のコンクリート構造物の改良によりアルカリ溶出防止と溶解性鉄の供給ができるのであり、海藻で覆われた波消しブロックへと生まれ変わることは夢ではない!! 最も大きな責任は、膨大な波消しブロックを供給してきた行政、企業や団体にあるが、いまだにアルカリの影響を認めていないし、溶解性鉄の効果も認めず、ひたすら、海藻が付着、固着しやすいコンクリートブロックの形状や溝の工夫などに関する研究開発が主体である。なお、同じように溶解性鉄に注目して実証実験を行っている鉄鋼スラグを活用した事例も注目を浴びている(鍵谷司; 裏方思考の散歩のみち(第7回) 磯焼けの話⑦ 溶解性鉄は磯焼け対策の切り札か! ~溶解性鉄の働きと鉄供給による藻場回復事例! ~、環境施設、No.153, pp.74-81 (72018.9))。

4. 磯焼け対策ガイドラインについて

(1) 鉄イオンの不足について

磯焼けの拡大は水産業界に深刻な影響を及ぼしている。その原因には次のような様々な説はあるが、コンクリートのアルカリ成分溶出の影響について注目して研究・調査した事例は見当たらない。水産庁「磯焼け対策ガイドライン」においても磯焼けの基本的な要因が整理されている。

- ①水温上昇説; コンブ等大型海藻の発芽体期の冬季に水温が上昇すると発生が抑制
- ②食害説; ウニや植食性魚類の藻食動物による過渡な摂食による海藻群落の衰退
- ③養分不足説; 排水の規制強化により窒素やリン等の栄養分の不足
- ④鉄イオン不足説; コンブなどの海藻の光合成等に不可欠な鉄イオンが不足
- ⑤その他; 海藻群落の流出説、濁りによる太陽光不足説、無節サンゴモ類による藻の付着・固着阻害と剥離説等

ガイドラインでも④鉄イオン(溶解鉄)不足が、植物プランクトンの発生及び豊かな藻場育成に欠かせない重要成分であることが掲載されている。しかしながら、「第20回海の森づくりシンポジウム」(海の森づくり推進協会; 2022)における意見交換等においてもコンクリートから溶出したカルシウムはアルカリ性であるが、藻場に及ぼす影響については確たる検証が行われていない。

とくに、海域のpHは、海水の緩衝作用により大きく変動しないとの思い込みがある。海洋の年間平均値のpHが8.1～8.2がその基礎になっている。しかし、実際の沿岸部の海における環境基準は7.8～8.3(年平均値)であり、実際はこの数値を超えるほど変動は大きいことから、望ましい基準として設定されているのである。一方、藻場回復における溶解性鉄の重要性については多くの文献で報告されているが、海水のアルカリ性と鉄溶解度に言及した事例は見当たらない。

(2) 海水中のコンクリートの劣化について

海水中および地表(空气中)におけるコンクリートの耐久性(劣化)、つまりコンクリートの溶解とその影響について考察した結果は、次の通りであ

る。

①海水は、弱アルカリ性で緩衝作用があるので、二酸化炭素が溶解してもpHは大きく変化しない特性がある。つまり、アルカリ性の海水には、アルカリ性のコンクリートは非常に溶解しにくい。一方、地表では、雨水や河川水等は淡水であり、緩衝作用がないので二酸化炭素が溶解すると酸性になるので、アルカリ性のコンクリートは溶解しやすい。つまり、コンクリート製の海へのアルカリ流出を軽減するためには、地表部のコンクリートの雨水による溶解防止を検討すべきであることを示唆する。

②海藻の繁茂は、海中の二酸化炭素成分を吸収して光合成することで行われる。つまり、海中の二酸化炭素成分は弱酸性であるが、これが消費されるので、海藻が繁茂すると、海水のアルカリ性が強くなる。つまり、コンクリートブロックに海藻が固着して繁茂すると周辺はアルカリ性が一層強くなる。その結果、コンクリートの溶解性が低下するので、空気中より溶け難いことになる。海水中のコンクリートには、海藻が繁茂しにくい理由の一つであると考えられる。

なお、流れの遅い海水の滞留地帯では影響は大きく、流れが速い場合は、速やかに二酸化炭素成分が供給されるので、影響は軽減されると考えられる。コンクリート藻礁に、海藻が繁茂する事例が多々報告されているが、海水の流れがポイントではないかと推測している。

③コンクリートの温度による収縮率はごく微量と言われている。海水の温度変化は小さく、地表では大きい。このため、海水中では、ひび割れなどの劣化は小さいと考えられる。

つまり、海水中のコンクリート藻礁の劣化は遅いので耐久性が大きいことを示唆する。このことは、表面を防水することにより長寿命化を実現できそうである。例えば、藻場回復の切り札と期待されている「リーフボール」は、コンクリート藻礁表面に鉄化合物を吹き付けて溶解性鉄の供給を図っているが、同時にコンクリートと海水の接触が断たれるので、長寿命化が図られていることを

示唆する。

(3) 今後の取り組み

以上の考察によると、海水に対するコンクリート構造物の影響は、海水に浸漬したコンクリートよりも空気中に露出したコンクリート部分からのアルカリ分の流出が大きいと考えられる。つまり、アルカリ性の海水には、アルカリ性のコンクリートには溶け難いが、大気中の二酸化炭素が溶けた弱酸性の降雨には、溶けやすいと考えられる。また、実験による証明はできていないが、空気中に露出したコンクリート部分をフルボ酸鉄で被覆することにより、アルカリ材の溶出抑制と溶解性鉄(フルボ酸鉄)の海への供給を実現できることになる。これにより、コンクリート構造物の劣化抑止が図られるとともに海水に浸漬したコンクリート周辺で藻場回復の可能性が高くなると考察できる。

(株朝日テックでは、すでに藻礁(リーフボール)だけでなく、栄養剤とフルボ酸鉄を固化化したキューブ(写真21)や塗布剤(液体)を製造し、販売している。とくに、キューブは、取り扱いが容易であり、安価なので、個人でも入手が容易であり、海中への設置なども容易である。できれば、様々なフィールドでこれらの試験区を設定し、1年程度の供給実験の結果が取得できれば、実用データを集積できるとともに貴重な検証事例になる。なお、設置地点については、海の環境である水質、温度、海流など多くの環境条件があるので、これ



写真21 栄養分・フルボ酸鉄の固化剤



動画；NHK「おはBiz」（2024年4月8日放映）

らを簡易的に把握することが必須になり、使用方法を含めた解説書が必要不可欠である。

漁業組合や養殖業などの海を生業の場として活用している関係者のみならず、漁業とは直接関係にない住民活動の中で、簡易な方法で藻場回復に取り組むことにより、豊かな海を取り戻せるのではないか！

おわりに

今回は、藻場回復に取り組む(株)朝日テックを視察させていただいたので、視察記として寄稿した。同社は、私がこれまで連載した海藻繁茂の条件である光合成を促進するためには、溶解した鉄イオンが必要不可欠であるが、これがコンクリートのアルカリにより除去されていると想定し、アルカリ性と鉄溶解性の観点から理論的に考察した。その結果、藻礁からアルカリ成分の溶出防止と溶解

性鉄の供給が重要であると考察したが、これを実践した藻礁「リーフボール」が既に実用化され、フィールドで多くの藻場回復に実績を上げていた。

藻礁「リーフボール」は、重量も大きく、高価なので、簡単には設置できない。が、溶解性鉄や栄養成分を混合した散布・塗布剤及び固化物が開発され、実用に供されていた。このような手軽な藻場促進剤は、海に関心を抱く個人や漁業者等が実践できる有用な方法であると思った。いずれ、海藻に覆われた波消しブロックの実現も夢ではなさそうである。

長崎県壱岐では、高水温のたびに着実に北から藻場が消失し、漁獲量も年々減少している。さらに魚類による藻場の食害が激しくなり、藻場消失が懸念されている。このような状況を危惧した田山久倫氏は、社団法人マリンヒタット壱岐を立ち上げ、(株)朝日テックとの代理店契約の下でリーフボール藻礁による藻場回復に取り組んでいる。

今回は、「流れ藻シリーズ④ 磯焼けの現状とリーフボール設置の現場報告 ～磯焼けの現状と壱岐における藻場再生の取り組み～」と題して、我が国の藻場消失と磯焼けの現状及び壱岐における藻場再生の取り組み事例について紹介する。なお、海中におけるコンクリートの劣化やアルカリ分の溶解に伴うpH変化については次号以降に紹介する。

〈引用・参考資料〉

- 1) 朝日テック(株)ホームページ；<https://asahitech.jimdosite.com/>
- 2) 海の森づくり推進協会；第20回海の森づくりオンラインシンポジウム；会誌3号（2022）
- 3) 磯焼けを防げ！ 町工場が作る海のオアシス「リーフボール」；日本財団 海と日本PROJECT in ながさき（2021）；YouTube（<https://www.youtube.com/watch?v=j7ug0fFO9ig>）
- 4) 2024年4月8日放映；NHK「おはよう日本」おはBiz より