

磯焼けの話⑨ テトラ(コンクリート)が藻場喪失の原因か？(2)

～テトラ（人工岩礁）は藻場回復を阻害するのでは！～

裏方 思考

はじめに

「環境施設」153号（2018.9）では、「溶解性鉄は磯焼けの切り札か！ ～溶解性鉄の働きと鉄供給による藻場回復事例～」と題して、藻場回復には海水中に溶けた鉄が重要な役割を果たすことを紹介した。また、「環境施設」155号（2018.3）では、「テトラ（コンクリート）が藻場喪失の原因か？（1）～セメントのアルカリ性が海中から鉄を取り除く！～」と題して、コンクリートの原料であるセメントの溶解に注目し、その表面や近傍の海水はアルカリ性が強くなるので、鉄の溶解度が小さくなり、不溶化して除外され、溶解鉄が不足することが藻場の成育を阻害し、磯焼けに拍車がかかることを指摘した。

ところで、私は、1993（平成5）年7月に発生した北海道南西沖地震（奥尻地震）以降、その沿岸部の海中に設置されたテトラへの海藻の付着・生育状況を20年以上にわたって観察してきた。が、海藻がほとんど付着・繁茂していないし、わずかながら生育しても天然岩礁の海藻群と比べると極めて貧弱なのである。また、長年、水中ガラスで海底を覗いているが、白灰化が広がっているように感じる。テトラから溶出したカルシウム成分が沈殿したのではないかと疑っている。つまり、自然岩礁と人工岩礁であるテトラポットでは、海水の水質（水素イオン濃度；以下pH）や海藻の増殖等に大きな違いがあると考えられるので詳しく調べてみた。

（キーワード；海藻、テトラポット、コンクリート、天然岩礁、アルカリ性）

💡豆知識；海草は種子植物で、根・茎・葉があり、

陸上植物と同様に花が咲き、種子・地下茎によって繁殖する。アマモやスガモ等がある。他方、海藻は藻類で、根・茎・葉の区別がなく、キノコのように胞子を放出して繁殖する。胞子が岩礁等に付着・固着し、発芽・成長して海藻になる。ノリ、コンブ、ワカメ、ヒジキ、テングサなどがある。

1. プロローグ

平成30年8月に北海道で唯一、海中公園に指定されている積丹半島（写真1）に位置する美国港に立ち寄った。積丹半島は日本海に突き出た大きな半島であり、その先端は岩礁が点々と繋がり、高さ40m程度のローソク岩が目立つ岩礁地帯である。

ここは「積丹^{しやこたん}ブルー」と称される透明度の高いパステルブルーの海が有名である。神威岬や黄金岬、奇岩・奇石等の岩礁地帯であり、この港から海中を展望できる水中展望船（写真2）が出航する。当然、海底の海藻の繁茂状況やウニなどの魚介類あるいは海底の白灰化の状況を観察できると期待していたが、当日は風が強く、残念ながら出航できなかった。観光案内にアクセスして状況を調べた結果、あの「積丹ブルー」の美しい海はそのまま残っているが、海底写真によると白灰化した海底にはキタムラサキウニが繁殖し、海藻がほとんど繁茂していない（写真2）¹⁾。

ところで、港では大きさ4mの大型テトラポットが現場で製造されていた。港の周りには岸壁が見えないほど大量のテトラが重なっていた。（写真3・4・5）。これらからわずかでも石灰分が溶出すればいずれ海底は白灰化し、海藻の消失が懸念



写真1 積丹半島神威岬の先端¹⁾

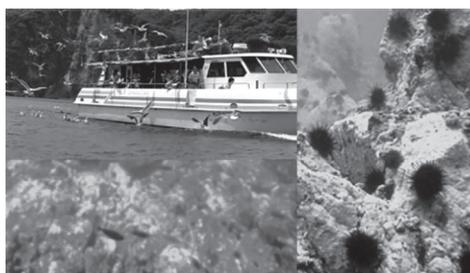


写真2 水中展望船と海底のウニ群¹⁾



写真3 テトラの製造現場



写真4 製造された大型テトラ群



写真5 積丹町美国港のテトラ

される。地上からは透明で青い海に見えるが、その海底は海藻のない貧弱な状態で、すでに磯焼けの進行が伺われる。自然に富んだ断崖・絶壁が延々と続き、かつ、人が住んでいない地帯であり津波対策としてテトラは必要ないので、海藻や魚貝類への影響は小さいと予想していたが、水中展望船の写真では確認できない。なお、海底を直接観察しなくても、海中の藻場の状況は波打ち際に打ち上げられる海藻の量や種類で推測することができる。次回には確認したい。

2. 人工構造物（テトラ）と自然岩礁の違い

磯焼けは、海水温の上昇、栄養塩不足や食植生物（ウニや魚など）の異常発生など様々な要因で起こることが分かっているが、磯焼け対策ガイドラインや様々な藻場回復の取り組み事例ではいずれも対症療法的な措置であり、藻場回復が拡大する兆しはなさそうである。

主たる原因を特定できなければ、有効な対策を講じることは難しい。海藻には、根（付着器）はあるが、岩場に固定して流されないようにするのみで、根から栄養を摂取することはない。必要な栄養分は体全体で海中から取り込み、光合成により成長する。つまり、海藻の胞子が固着しなけれ

ば流出し、繁茂することができない。ここでは、様々な要因の中から人工構造物のテトラポットと自然由来の岩礁の違いを胞子の付着のしやすさなどから推測してみた（写真6・7）。

（1）成分溶出に伴う胞子付着・成育の阻害について

岩礁は何万年以上も海水に浸漬されており、溶解する成分はほぼ皆無で、かつ海藻はそのような水質環境のもとで繁殖してきたので、海藻胞子の付着・固着を阻害する成分はないと考えられる。他方、テトラは、人工的にセメントを主原料に砂等を混合して固化して製造したコンクリートであり、微量成分が溶出するので、海藻胞子の付着・生育に何らかの影響が懸念される。化学的にみると、コンクリートは、生石灰と水との水和反応等による固化物であるが、化学反応は100%完了することはないのでわずかながら未反応原料が残存する。つまり、微量のカルシウムが溶け出すので、その表面や近傍の海水はアルカリ性が強いと考えられる。なお、海水には、pHを一定にする緩衝作用があることや膨大な量により希釈されるので、広範囲に水質が大きく変わることはない。海全体に対する影響はごく軽微であるが、長い年月をかけてゆるやかに起こると予想される。



写真6 自然岩礁地帯



写真7 海水に曝されるテトラポット

(2) 海藻胞子の付着・固着について

海藻の胞子等の大きさは、数 μm (0.005mm程度)であり、表面が粗く、微細な孔が多いほど付着・固着しやすい。岩礁は、長年にわたって激しくぶつかる波で岩が削られ、割れ目、溝や窪みのある粗々しい表面が形成されている。つまり、海水と接触する表面積が非常に大きいこと、および空隙に進入した胞子が固定されやすいのであり、さらに、成長した根を岩盤の窪みや割れ目に入り込ませ、地下茎を海上に発達させ安定して固着されやすい²⁾³⁾。

一方、テトラの表面は平滑であり、窪みや割れ目などが殆ど無いので、胞子が付着・固着されにくいと考えられる。なお、胞子の付着や増殖に及ぼすアルカリ (pH) の影響についての研究・調査は見当たらなかった。pHがほぼ一定の海水中で長年にわたって繁殖し続けた海藻にとって好ましい環境とは言えない。コンクリート漁礁に対する実証試験では次の報告が目を引き⁴⁾⁵⁾。

- ①テトラと同じ成分のコンクリート漁礁の表面を削って溝や微細な凹凸面を作り、胞子の付着性を確認した実験では、当初、海藻は繁茂するが3年後あたりから付着・固着が減少するとの報告がある。
- ②コンクリートブロックと天然石とのコンブの付着性能についての調査では、両者に優劣はないと報告されている。ブロック設置一年目に多くのコンブが繁茂するが、3～4年後には1/10くらいに減少する。その原因は、設置後経年とともに様々な藻類等が付着するためとしている。その対応として遅くとも設置

5年目頃からブロックの磯掃除をしなければならぬと報告されている。

(3) コメント

岩礁材料にコンクリートを使用した事例では、設置当初は海藻も生育し、餌場、産卵、隠れ処として機能していたにも関わらず、2～3年後には海藻が減少、あるいは育たないとの報告に注目している。海水温の上昇や他の海藻類が増えたためと考察されており、表面の清掃を推奨しているが、海底の漁礁の清掃を数年ごとに繰り返すことは非現実的であり、コンクリート製は、漁礁として不適であることを示唆する。

藻場の消失原因として海水温の上昇が大きな要因であることは疑う余地がなさそうであるが、水温上昇の影響は、生物的な増殖、栄養分の供給、二酸化炭素の海水への溶解低下など様々な現象が起こると想定されるが、そのメカニズム等については必ずしも明らかでない。コンクリートにも投入初期には海藻類が付着・固着しながら次第に付着・増殖しなくなることに注目すると、経年的にコンクリートが劣化し、その内部に浸透した海水が強いアルカリ性を帯びて表層に滲出したため、海藻の付着・定着が阻害された及び漁礁表面およびその近傍海水がアルカリ性になり、溶解鉄が沈殿除去されるので、溶解性鉄の不足により光合成が阻害されたと考えられる。

膨大なコンクリートの海中投入により、微量ながらカルシウム分が溶出するのであり、その影響を様々な視点から研究、実験、実証などにより解明すべきであろう。

3. 改善された漁礁の事例；ポーラスコンクリート漁礁

天然岩礁と人工漁礁の大きな違いは、海藻胞子が付着・固着のしやすさであり、平滑な表面よりも窪みや突起など表面積が大きさである。天然岩礁に類似したポーラスブロックのコンクリート漁礁（写真8）や溝を付けたテトラ（写真9）が注目され、これに微生物群が付着・固着しやすい工夫を施した漁礁等が試作され、実証試験が行われている。

ポーラスコンクリートは多孔質で連続空隙の構造を有し、通水性・通気性に優れていることか近年環境負荷低減基材として広い範囲で使用されている。このポーラスコンクリートの内部空隙に有機物による腐植成分と有効（有用）微生物による生物生息環境を造ることによって、天然岩礁とほぼ同様の機能を持たすことができるとして、今まで多くの研究事例が発表されている。漁礁の設置当初には、藻場回復の兆しが認められたが、効果は限定的であり、かつ長期的にはむしろ藻場育成を阻害する可能性があることが報告されている。多様な微生物が生息し、動植物の生育に大きな影響を与えていることが確認されているが継続して大きな評価は得られていない⁵⁾。

【コメント】

海藻の増殖は、海藻胞子の付着・固着に始まり、光合成による成長により繁茂する。天然岩礁に類似したポーラスコンクリートは、材料はセメントであり、カルシウム分が微量ながら溶出し、アルカリ性が高くなる。当然、海藻類の胞子が着床し、光合成により成育するにあたり、海中の溶解性鉄

分は細胞増殖に必須成分である。コンクリートはアルカリ材であり、海水はアルカリ性が強くなるので、溶解性鉄が沈殿し、溶解している鉄濃度は低下することに注目すべきである。

💡豆知識；ポーラスコンクリートは、極端に細骨材を減らして製造する、または、細骨材を使用しないで、セメント、水、粗骨材だけで製造する多孔質のコンクリートのことを言う。特徴は、空隙が多く、保水力を有しているため、植物の生育や微生物の棲息が可能であり、水質浄化、緑化、透水、舗装コンクリートなど環境に配慮した構造物と言われている。

4. コンクリートブロックの影響のまとめ

波消しブロックとして有効なコンクリート製テトラポットは、陸地の浸食を防ぎ、高潮や津波から生活基盤を守る重要な機能と効果を発揮してきた。しかし、自然環境の視点からみると、汀を壊し、景観悪化、海との触れ合いの妨害、さらに磯焼けの促進、藻場や漁業の縮小など多くの悪影響を及ぼした可能性がある。つまり、影響は次のようにまとめることができる。

- ①コンクリート表面は、アルカリが強いので、海藻胞子の付着・固着を阻害する。
- ②コンクリート表面は、平滑であり、胞子の付着を阻害するため、藻場の消失を促す。
- ③コンクリート表面や近傍は、アルカリ性が強くなるので、海水中の溶解鉄が沈殿し、溶解鉄が不足する可能性が高い。その結果、光合成や窒素固定が阻害されるので海藻が育たにくい。
- ④海中に浸漬後3年以上を経ると、海藻の繁茂



写真8 ポーラスブロック

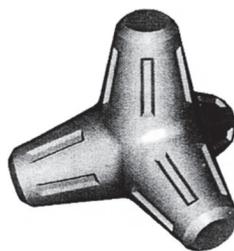


写真9 溝付きブロック



写真10 テトラポットの表面

が阻害され、消失する事例もあった。経年劣化でコンクリートの亀裂やひび割れが起こり、高アルカリ状態になった内部に浸透した海水が滲み出るため藻類の付着・固着を阻害するとともに、溶解鉄が沈殿除去された可能性がある」と推測される。

以上の結果から、コンクリート構造物は、漁礁として不適であり、投入直後は海藻の繁茂がみられることもあるが次第に消失し、むしろ海環境を悪化させる可能性がある」と判断できる。

なお、テトラポットの設置条件として、海流、森からのフルボ酸鉄供給（溶解性鉄）、栄養塩類濃度など他の要因もあるので、コンクリートの影響が軽減されることもあろう。このような「化学反応」による影響から海藻胞子の付着や成育、あるいは海水温の影響も溶解度の変化があるなどの視点から検討する必要があることを指摘しておきたい。

おわりに

これまで藻場の回復に焦点を当て、海藻類は植物であり、基本的には陸上植物と同様に光合成により繁茂する。が、陸上植物との大きな違いは、その根は単に本体を固定するのみであり、栄養等は海水中から取り入れることである。海藻が光合成で成長するためには、海水中に太陽光が届くこと、二酸化炭素が溶存していることが必須であるが、光合成で植物細胞が増殖するためには溶解性鉄分が必要であることを述べた。一方、コンクリート製のテトラポットを海中に浸漬すると、その表面および近傍の海水はアルカリ性が強くなるので、

周辺海水の溶解性鉄分は不溶解性になり、溶解性鉄分不足に陥るので、藻場の消失を招き、最終的には「磯焼け」が拡大することを紹介した。

藻場の回復には、海藻類の胞子の固着が必須であることから、今回は、人工的に製造した表面が平滑なテトラポットと窪みや突起などに富んだ天然岩礁に着目して藻場回復の効果を調べてみた。これに着目して、表面積や胞子の着床あるいは微生物群の活動を促進できるポーラスコンクリートによる漁礁の開発等が行われているが、長期的には大きな効果は認められないとの試験結果である。

コンクリートを材料とすることは、周辺水質がアルカリ性が強くなること、それにより植物の光合成に必要な鉄分の溶解度が小さくなるので、溶解性鉄濃度が低下するのであり、長期的な藻場回復には至らないと考えられる。

いずれの実験においても、コンクリートはアルカリ性であることや、溶解性鉄などミネラルの重要性にはほとんど考慮せずに試行錯誤を繰り返している。たぶん、コンクリートは不溶性であり、海水中に溶けない、海水にはpHの緩衝作用があり、大きな変化はない、あるいは海水は膨大であり、十分に希釈されるので影響はない、と思いついでいるのではないか！ これまで海中に投入されてきたコンクリートは膨大な量であり、たとえわずかに溶けたとしてもその影響はゆっくりと長年月にわたり、徐々に現れるのであり、無視できないと考えるべきである。

次回は、天然材料である牡蠣殻漁礁や石積み護岸の漁礁としての機能などについて紹介する。

〈参考資料〉

- 1) 積丹観光振興公社資料；中展望船 ニューしゃこたん号パンフレットより
- 2) 綿貫ら3名；ツルアラメ幼体の入植に及ぼす基質表面形状の影響、水産増殖、35-2、69-75 (1987)
- 3) 綿貫；防波堤での藻場造成の現状と課題、日本海水学会誌、57-6、pp.462-468 (2003)
- 4) 中村義輝；コンクリート・ブロックの投石調査報告、昭和34年度、浅海増殖事業（効果調査）報告書、北海道、pp.17-25、1960 (11)
- 5) 沿岸の環境保全コンクリート研究 -磯焼けを防ぎ藻場を造る- 研究発表会テキスト；北海道土木技術会 コンクリート研究委員会 沿岸の環境保全コンクリート研究小委員会（平成19年9月）