

「人工ゼオライトで海の生き物をにぎやかにして二酸化炭素を減らす」

近年、地球温暖化が、先進国、開発途上国を問わず、国境を越えて、人々の生存環境を脅かす大きな問題になっています。この解決に向けて、国際社会が一致団結して取り組むことの必要性が叫ばれています。

1997年に採択された京都議定書は、すでに、2005年に発効しており、地球温暖化ガスである二酸化炭素の放出を、1990年を基準として、6%ほど削減することが、わが国の義務となっていることは、よく知られています。この京都議定書の第1約束期間が、本年（2008年）から始まっており、5年間（2012年まで）続きます。この間に、膨大な量の二酸化炭素を減らすことが求められているわけです。今年7月の7日～9日に、北海道洞爺湖地域で開かれる「洞爺湖サミット」では、第1約束期間が終了した2013年以降のいわゆる「ポスト京都議定書」の国際的枠組みなどが主要な議題として話し合われるものと注目されています。

最近、わが国の政府は、京都議定書終了後の次期枠組みづくりに国際的議論を主導するとして、地球温暖化の問題に関する新提案「クールアース50」を発表しました。この新提案は、2050年までに、世界全体の二酸化炭素放出量を現状の半分にすると目標を掲げています。今後とも、地球温暖化など気候変動の問題を含めた地球環境問題を最も重要な課題の一つとして位置づけていき、国際社会において、わが国の諸々の技術を活かした様々な提案を行うなど、持続可能な社会の実現を目指して、引き続き積極的に取り組んでいくとなっています。

こうした情勢から、今、二酸化炭素の削減に関わる技術の開発が、ますます必要となっている時期を迎えています。そこで、今回は、人工ゼオライトを活用して、海藻が住みやすい環境を作る方法についての話をしていきます。海藻は、光合成を営む植物ですので、地球の表面の約7割を占める海に広く繁茂させることができれば、地球温暖化ガスとして問題になっている二酸化炭素を、大量に吸収し、減少させることができます。

漁礁を沈めた海域や消波ブロックを設置した水域を作り、その場所を海藻など水生植物が繁茂する藻場として、魚類など水生動物が住み着きやすい環境を構築する方法が採用されるようになってきました。良好な藻場を作るために、漁礁や消波ブロックの表面に硫酸鉄など鉄化合物を混入した塗料を塗り、水生植物の微量元素である鉄分を供給することで、海藻などの生育を促す方法がとられています。しかし、この鉄化合物を塗布した漁礁や消波ブロックの表面からは、しばしば、過剰の鉄分が速いスピードで溶け出します。これにより、水生植物にとって微量で十分な養分が過剰に供給され、海藻の生育が悪化してしまうこともあります。鉄化合物の過剰な放出は、水圏の汚染を引き起こす恐れもあります。また、この種の漁礁や消波ブロックを製作するには、コンクリートなどの材料を成形した後、塗料を塗る作業が入ることで、工程が煩雑となり、製作コストも高くなります。製作工程が簡単で水質汚濁を起こさない安全な藻場漁礁や水生植物がよく茂る消波ブロックを製作する技術や方法の開発が待たれています。ここでは、人工ゼオライトを利用して、微量元素の鉄イオンを徐々に放出することで、海藻などに必要最小量だけ供給できる漁礁や消波ブロックについて述べます。このようなコンクリートブロックは、鉄分の過剰溶出が起こりにくいので、海の環境に優しいうえ、塗布工程などが不必要になるので、製造コストが

安くなることも利点となります。鉄分の放出を制御するため、鉄イオンを吸着担持したゼオライト（鉄型人工ゼオライト）を、コンクリート等の材料に添加した混和原料を用意し、この原料を成形して漁礁や消波ブロックを作成するという手段で、藻場の形成を容易にしようというものです。

以下に、試験法および実験結果を示します。人工ゼオライトを塩化鉄水溶液で処理して、鉄型人工ゼオライトを作ります。セメントに鉄型人工ゼオライトを、重量比で10、20、30、40、50%と5段階に量を変えて混合しました。このゼオライト混合セメントを用いて、縦25cm、横40cm、高さ5cmの四角いブロックを作って、供試ブロックとしました。セメントだけで同様の直方体ブロックを作製し、対照として用いました（以下、対照ブロックと呼びます）。供試ブロックと対照ブロックを、平均水深2m前後の海中に沈めて、海藻の着床と生育の様子を観察しました。

海の中で一週間たった時、はやくも供試ブロックに海藻（紅藻類）の着生が認められ始めました。しかし対照ブロックはほとんど変化がなく海藻の着生は起こっていませんでした。二週間たちますと、供試ブロックに別の海藻（緑藻類）の着生が始まってきましたが、対照ブロックは変化はありません。四週間経過した時には、緑藻類は供試ブロックの表面を半分以上覆うほどに生長していました。一方、対照ブロックは、海中に沈めた時点のままで、大きな変化はなく、海藻の着生は依然認められませんでした。

供試ブロックについて、鉄型人工ゼオライト混入量と海藻着生の程度は次のようでした。20%混入までは、混入量が多くなるほど着生の程度は明らかに大きくなり、それ以上の混入では、ほぼ一定、あるいはわずかに低下しました。このことは、鉄型人工ゼオライトを20%ほど添加した場合に、海藻の着生が最も大きくなることを示しており、漁礁や消波ブロックの作製では、人工ゼオライト混入の割合が重要であることがわかります。海藻着生に及ぼす鉄型人工ゼオライトの効果を、写真に示します。

対照ブロックには海藻の着生がほとんど認められません。これに対して、供試ブロックでは、ブロック面のほぼ三分の二にわたって海藻（大部分が緑藻類）が活着し、大きいものでは高さ約5cmにも達するほどに生長しています。この海藻の付近には、巻き貝も生活しており、一つの小さな生態系を形作っているのがわかります。鉄型人工ゼオライトを混ぜることで、ブロックは海藻が住みやすい場所になっていることが明らかです。人工ゼオライトの過剰な混合は、海藻の着生効果をかえって減少させる場合があるので、セメントに対して20%程度の混入が最も効果の大きいことがわかります。この程度の混入では、ブロックの強度はほとんど低下せず、破壊に対して十分に耐えることができます。

海では、鉄のほか、マンガン（Mn）、モリブデン（Mo）、コバルト（Co）、亜鉛（Zn）などの栄養素も、藻類の生育を良好にすることがわかっています。また、通常、藻類はアンモニウムイオンのほうを硝酸イオンより好んで使います。硝酸イオンは、アンモニウムイオンに還元されてからアミノ酸合成に使われるため、代謝に余分のエネルギーを要します。一方、アンモニウムイオンは、そのままアミノ酸合成に用いられるので、代謝効率が高いことが知られています。さらに、海中のような日光が制限される環境では、アンモニウムイオンの方が、大きな増殖速度を与えることもわかっています。こうした、いろいろな知見を考え合わせますと、鉄型人工ゼオライトのほか、Mn、Mo、Co、Zn およびアンモニウムイオンを吸着担持した人工ゼオライトを利用して作った漁礁や消波ブロックも、優

れた藻場を形成する材料となるでしょう。



写真：海藻着生に及ぼす鉄型人工ゼオライトの効果

左：鉄型人工ゼオライトを利用したコンクリートブロック（供試ブロック）

右：通常のコンクリートブロック（対照ブロック）