

「鉄鋼スラグを用いた藻場再生について」  
新日本製鐵株式会社 技術開発本部 堤 直人

日時：2010年5月18日(火)15:30-17:30

場所：室戸市 ホテル明星



地域連携機構の連携企画研究室（室長：中田慎介教授）では、コンクリート廃材を活用した漁礁の造成という課題に取り組んでいる。平成21年度、国土交通省が「建設業と地域の元気回復助成事業」を開始したのを受けて、県、室戸市や高知県建設業協会などが室戸地区天然資源回復協議会を組織し、この事業に採択された。

今回、同協議会のワーキンググループ（中田委員長）による検討の一環として、鉄鋼スラグを用いた藻場の造成に早くから取り組んでいる新日本製鐵株式会社より、技術開発本部、環境・プロセス研究開発センターの堤直人氏をお招きし、これまでの取組の経緯や実験結果の知見を講義していただく機会を設けた。参加者は、協議会のメンバーを中心に約30名。

【講演記録】

■製鋼スラグの利用

新日本製鐵株式会社は、鉄鋼をつくる際に出てくる副産物（スラグ）を使って、海の森としての藻場造成に取り組んで約6年となる。スラグとは鉄鉱石から鉄をとった残りの石のことであるが、本日はこのスラグから海藻のためのサプリメントとして製品開発したビバリーシリーズの一つである、ビバリーユニット（転炉系製鋼スラグと腐植土等を袋詰めしたもの）について紹介する。

スラグには、①溶鉱炉から出てくる酸化鉄分がない高炉スラグと、②鋼をつくる時に酸素を吹くことで酸化鉄分がある製鋼スラグの2種類がある。高炉スラグは、鉄1トン作るのに約300キロ発生し、ほとんどが急冷して微粉碎することで高炉セメントの原料として使われている。また、次の工程で少し酸化鉄分が入った製鋼スラグが約100キロ発生する。ビバリーシリーズは、この酸化鉄を少し含んだ製鋼スラグを海の環境改善、藻場造成に使えないか検討・開発したものである。

高炉スラグはほとんどが石灰とシリカであり、鉄はほとんど無い。いっぽう転炉系製鋼スラグは酸化鉄分が入っているというのが特徴であり、それが天然の石より多いというこ

とがこの開発のキーポイントとなっている。また、製鋼スラグを素骨材にし、高炉スラグ微粉末をモルタル代わりにしてオールリサイクルの石（ビバリーロック）を作る開発も行っている。よって、この石（ビバリーロック）を基質材として、そこにビバリーユニット（転炉系製鋼スラグと腐植土等を袋詰めしたもの）の鉄を入れて藻場造成をするというのが、開発の全体的なコンセプトである。ちなみに、ビバリーロックは、羽田空港 2 期拡張工事で 100 万トン使用して頂き、昨年度国交省大臣の技術開発賞を貰った。

## ■スラグの安全性について

安全性については、製作工程で、道路路盤材の JIS 規格に合うようにしており、品質管理、出荷管理がどこでどのようにされているかが分かるようになっている。製鋼スラグ、鉄鋼スラグ共に、JIS 規格に沿っており、重金属の溶出検査が義務付けられている 13 項目についてはすべてチェックをして出荷している。

さらにスラグを海に入れることの安全性については、環境基準等に従って溶出物質について調査を行っている。また、実際の生物の成長に及ぼす影響について、生物を使った“バイオアッセイ”という調査を全国水産技術協会（全漁連関連先）で実施し、マダイ、クロアワビ、クルマエビに対する安全性を確認している。ちなみに、日本ではあまり進んでいないバイオアッセイであるが、例えば、地震とか災害の時に水が飲めるかどうかを微生物によって調べるなど、オランダにおいてはマニュアル化されている。

## ■磯焼けの問題

日本では日本海側も太平洋側も磯焼けが進んでいて、食害や水温の上昇等が要因と言われている。我々の開発は、松永勝彦氏（北大名誉教授・現四日市大学教授）が言われている、山から海に鉄分が供給されているという説に基づいている。すなわち、近年、生活のために必要な護岸整備等が進み、山から海への栄養分の供給路を絶っているのではないかという説があり、人工的に鉄分を海に供給することに意味があるという考えに基づいて取り組んでいる。ここで、海藻の栄養塩摂取に鉄が必要で、それが二価鉄の形でしか摂取できないというのはほぼ間違いない。しかし、すぐに三価鉄に酸化されるため、海中で二価鉄の状態が維持されるのは難しい。これに対し、腐葉土中にある「フルボ酸鉄」という一種のアミノ酸が錯体を形成し、二価鉄のまま維持させることができる。

## ■鉄の供給による効果

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター（旧北大理学部海藻研究所）の本村泰三教授によると、昆布は、秋頃水の中に残っている根元から種が出て、雌雄の区別なく、雄と雌の配偶体に成熟するために鉄が必要であるとの研究成果を 20 年前に報告している。雄しべと雌しべに成熟して初めて受精できるため、このサイクルが回らないと海藻は生えな

いということになる。これまで、磯焼け対策としてウニを除去しても、海藻が生えなかった原因としては、このサイクルが回らなかったためと考えられる。また、窒素やリンが高くても鉄がなければ成熟しないということも最近の実験で分かってきた。さらに、本村教授は、0.5ppm くらいのレベルで実験を行なっていたが、実際は、ppm のさらに 1000 分の 1 の ppb のレベルで磯焼けになったりならなかったりしていることまで分かってきた。

## ■腐植土との相乗効果

我々は開発当初、松永教授の指導に基づき魚の水産残さを発酵魚粉にして施肥したり、植林を町全体で行ってきた北海道増毛町で実験を開始した。まず、平成 16 年 10 月、玉砂利の海岸を 25m 掘り起こしビバリーユニットを埋設した。また、ビバリーユニットの効果と比較するため、掘り起こしただけで埋め戻した対象区も作った。翌年の 6 月には昆布が根付いた。2 年後も昆布は連鎖でおい茂っていた。3 年後には沖合 50m くらいまで生えた。今年で 6 年目となっている。ずっと定点観察を行なっているが、250m 離れた対象区の方まで昆布が生えた。また、一部発酵魚粉とスラグを足したものも試したが栄養の供給に非常に意味があることが分かった。

また、水槽実験では、スラグと腐植土を混合した場合、海藻が繁茂し、スラグだけの場合は少し生え、腐植土のみでは何も生えていなかった。よって、鉄分が腐植土によってキレート化し二価鉄の形で海藻に取り込まれたことが半定性的だが証明されたと言える。腐植土中の腐植酸に鉄イオンが錯形成し、イオンの形のままで運ばれる。腐植酸があるから二価鉄イオンのままでいられるということである。

## ■実験結果及び実績報告

千葉の研究所に干潟や浅場を再現した水槽を用意して 1 年前からいろんな実験を開始している。最近の実験結果は、東京湾で養殖されているスサビノリにおいて、栄養塩があつて鉄が有る状態と鉄が無い状態では、無い状態の方がノリが生えにくいことが分かった。そして、本村教授にご指導頂き、少なくとも、褐藻類には鉄分が効くことが明らかになってきた。実験では、アオサ、天草にも効果があること、カルシウムがリン酸を吸収するので赤潮対策にも機能し得ることが分かった。

導入実績については、増毛、函館、三宅島、三重、和歌山、大分等全国約 20 ヶ所で実験している。三重県の志摩の船越では、ブロックの組み合わせとビバリーボックスを入れた実験を行った結果、アラメ、カジメが付いた。和歌山県田辺市では県が海岸を解放し、海洋開発各社がいろんな基質を入れる実験をした。何もしないと 3ppb、ユニットの近くは鉄濃度が 10ppb となりホンダワラが繁った。大分県の姫島ではヒジキを増やす目的で施肥を実施した結果、翌年にはホンダワラが生えた。このように、昆布以外での鉄分の施肥効果は実証済みである。



会場風景。司会は本学中田教授

### 【感想】

水温上昇に応じた植物種を増殖させることもできるが、生態系のバランスが崩れているため、いろんな条件が重なりあって磯焼けになっているということをまず理解しなければならない。しかし、講演内容より、昆布の配偶体形成に鉄が必要で、そのきっかけになるための鉄の作用について理解できた。鉄さえ入れれば藻が生えるわけではないが、配偶体形成に必要という視点は、生態系を改善させようとする未知の要素があると参考になった。

産業廃棄物になると、漁民や住民への安全性への配慮が必要だが、廃棄物を有効利用するのであれば廃棄している価格で地域に貢献をしていきたいとの気持ちから立ち上げた本協議会である。新日本製鐵においても現在は、実験段階で事業という形が少ないとのことであったが、予備試験的な検討協議会である本事業において今後は、どのように資金を確保し、実践を展開していくかが課題といえる。（連携企画研究室 植本琴美）