

石炭灰造粒物が汚水を浄化するメカニズム -灰の循環が豊かな環境を再生する-

広島大学大学院工学研究科 正会員 ○野原 秀彰

広島大学大学院工学研究科 正会員 日比野 忠史

1. はじめに

「花咲じいさん」は灰の効用を後世に伝えることを目的に語り継がれてきた。現代社会では生活の中で灰を生産する活動がほとんどなくなり、灰を利用する機会もなくなった。一方で、異常気象が頻繁に現れる近年では都市沿岸域に放流される下水は年々増加している。これらの結果、川、海ではミネラル不足と下水を起源とする有機物の蓄積が常態化し、浅場のヘドロ化が進んでいる。ヘドロや悪臭は河川健康の障害（利用価値の低減）を示す指標であり、無関心はさらなる健康状態の悪化を招く。河川を人に例えれば、流下する有機物を消化する微生物環境は腸内と同様な環境にある。腸内には100兆個を越える微生物が存在しており、ミネラルの供給の有無により腸内細菌が無害化、有害化することはよく知られたことである。ヘドロが堆積した河川は消化不良な腸と同じである。人はミネラルを補給し、腸内環境を改善して健康の維持に努めている。河川にもミネラルが必要であり、豊富なミネラルが健康な水環境を創っている。



図-1 石炭灰造粒物を撒く花咲じいさん
(花を咲かせたお爺さんは、今では川を綺麗にしています)

2. 循環しなくなったミネラル

水域、特に河口域に堆積する泥のヘドロ化は有機物の過剰堆積とともにミネラル不足が要因である。生活様式の変化により沿岸域への灰の流出がなくなったことがミネラル不足の原因となっている。ミネラルは生活の中で循環していた灰そのものである。生活様式の変化は物質循環をいびつに変化させており、自然の恵みである多くの有用物質を循環させるためのバランスをゆがめている。灰を有効に利用していた時代には、野から農作物や薪（燃料）として取り出されたミネラルは利用された後、肥料として野に返された。人は灰を生活の中で利用し野に返すことで、ミネラルを生活の中で循環させていた。灰を利用しない現代社会では生物の必須栄養素である「ミネラル」を自然に返す機会はほとんどなくなってしまった。雑草木の野焼きも制限され、利用されたミネラル（生ゴミ、下水等）は焼却灰として埋め立てられている。灰が利用されない現代ではミネラル不足に気づく人は少なく、必要性も感じられていない。

3. 石炭灰の効用

近年、各地で石炭灰を造粒した石炭灰造粒物（Granulated Coal Ash）による底質改善が行われている。悪臭を放つヘドロ上に散布される石炭灰造粒物が生態系の再生を助けている（写真-1）。石炭灰造粒物は環境修復能力を持った砂の代替材料であり、底質改善以外にも例えばサンドドレーンの透水材として用いることにより、土壌が改良され排水を促進させる効果が現れる。石炭灰造粒物はミネラルを補給するサプリメントであり、河川健康を維持する現代版の花咲じいさんの灰である。石炭灰は草木灰と同様に酸化した鉱物（酸素を結合したミネラルの集合体）である。石炭灰造粒物は溶解してミネラルを沿岸域に供給するとともに酸性化したヘドロ場を弱アルカリ化して微生物が働きやすい環境を作る。ここにミネラルが供給されると、微生物群が善玉化

キーワード ミネラル, GCA, 健康な沿岸域, 環境修復, 花咲じいさん

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山14-1

広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 環境工学講座 TEL 082-424-7816

しヘドロ環境が改善されていく。しかしながら、多くの場合、石炭灰のみならず草木灰は廃棄物であり、利用されないまま処理されている。利用されない灰は河川～海ミネラル不足に貢献することはできない。

4. 堆積した土砂のヘドロ化機構 (図-2(a))

ヘドロは超軟弱粘土の総称であるが、一般には工場排水や都市下水等の人為的堆積物を指す場合が多く、汚い臭いといったイメージが強い。沿岸域の汚濁、臭気は有機物の過剰堆積やそれによる生態系の衰退が原因である。土壌(堆積状態にある有機泥)には酸素が供給されないため、有機物は微生物により消化(嫌気分解)される。微生物は消化によりエネルギー(例えば ATP: アデノシン三リン酸)を獲得し、不用となったプロトン(H^+)、電子(e^-)、 CO_2 等が排出される。排出される電子は単独で存在できないために、電子伝達体に受与される。なお、電子を受け取る電子伝達体の状態が電子受容体(EA)、電子を渡す電子伝達体の状態が電子体供与体(ED)である。EAの種類は土壌の還元状態に依存し、酸化還元電位(ORP)が -400 mV (v.s. Ag/AgCl) 程度では SO_4^{2-} がEAとなり電子を受容してEDである H_2S となる。ヘドロ化とは有機物の嫌気分解により土壌が還元化し、硫化水素等の悪臭を放つ場になることと定義できる。 H_2S が水中に拡散すると水中にあるEAである酸素が消費され(電子を受容し)、貧酸素水塊を形成していく。ヘドロ化は生物の生息環境を悪化させ、更なるヘドロ化を誘引する。

5. 石炭灰造粒物による生態系の再生機構(栄養塩等の固定、貧酸素化の抑制)

GCAが水域に散布されると酸化物が溶解し、 Ca^{2+} 、 Fe イオン、 SiO_2 等のミネラルと水酸基(OH^-)を溶出させる。GCA層では $PO_4\text{-P}$ や H_2S が溶出イオンと反応して固定される(図-2(b))。GCA層内間隙水のpHは最大で9程度までの増加であるが、GCA表面でのpHの増加がリン、硫化水素の固定を促進する。硫化水素の固定は還元物質の酸化であり、ORPを上昇させるとともに、酸素の消費を制限する。ORPの上昇は硫化水素の発生を抑制する。これらの効果とミネラルの供給は生物生息の阻害要因を排除するものであり、GCAが生物生息を促進する機構である。

6. おわりに

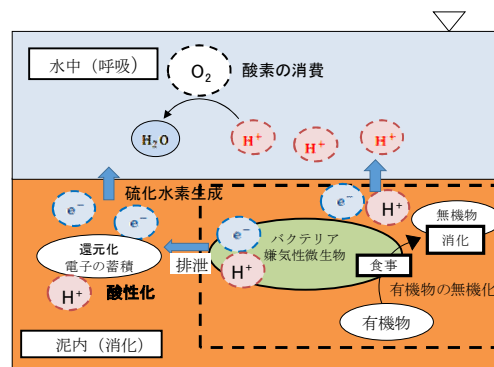
現代は自然の浄化力に頼らない、様々な有用物が循環できないインフラ整備を選択した時代である。人が作った有害物と共に必要物までも隔離し、植物の栄養源である農資源(ミネラルや有機物等)の循環を止めてしまった。有用な物質が利用可能な自然との調和、生態系の理解等、農資源が循環できる場の創造が社会の持続性を担保するのではないだろうか。「持続可能なインフラ整備とは何か」をじっくりと考え、本来あるべき循環社会を創りあげていきたい。

参考文献

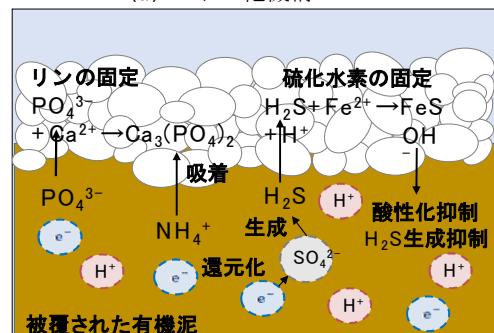
- 1) 日比野忠史: 石炭灰の灰としての効用-石炭灰は草木灰を越えるか?, 電力土木 7月号, No.384, p.3-8, 2016.
- 2) 日比野忠史: 沿岸域の健康を取り戻す-知っておきたいミネラルのはなし-, HEDORO ヘドロ No. 131, p.21-28, 2018.1.
- 3) 石炭灰造粒物による環境改善手法の手引き-感潮河川域編, 広島県土木建築局河川課, 2018.3.



写真-1 石炭灰造粒物により浄化されたヘドロ土壌 (GCA 掘り返し)



(a) ヘドロ化機構



(b) 石炭灰造粒物散布によるヘドロ浄化

図-2 石炭灰造粒物による水底質の浄化機構³⁾