

第9回 中国本部 技術士研究・業績発表会 島根例会
豊かな水圏の維持に“安全炉”の視点を含めた口頭発表

“湖沼水環境保全に関する自治体連携の活性化に向けて”を終えて

井上 祥一郎

はじめに

2023年12月10日に松江で開催された「第9回中国本部 技術士研究・業績発表会 島根例会」で、表題の口頭発表をする機会を頂いた。また、発表の前々日に漁業と関係の深い知人二人と議論し、当日には参加技術士の方達から参考になる経験談を拝聴した。

発表したパワーポイントの作成時には、中海の浚渫窪地に投入実験中の石炭物造粒物（商品名ハイビーズ）について問題提起する程度の認識であったが、発表を終えた現時点では、一度投入を中止し、漁業・水産に直接携わる有識者と技術者も含めて検討する必要性と、併行して硫化水素障害の解消法の対案募集を行う必要性に言及する方向に変化した。

変化に至った背景は、実際に現場を知る土木技術者と学識漁業者お二人から頂いた“渚部分で石炭灰造粒物の集積を確認”という知見であった。以前、松江在住の「水辺に夢を託して」の著者 SM 氏に中海の渚を案内してもらった際、同様の情報を聞いた記憶がある。

直接撒かれたか、資材の比重が軽いため投入先から巻き上がって打ち上げられたかは今後の調査で明らかになる。どちらにせよ中海の水環境保全に悪影響を及ぼす可能性が高い。

例会における発表概要を追いながら私見を述べさせて頂く。

1. 第9回 中国本部 技術士研究・業績発表会 島根例会発表の概要

1-1 “湖沼水環境保全に関する自治体連携”について

“湖沼水環境の保全に関する自治体連携”は、5年前の2018年、霞ヶ浦のある茨城県で開催された「第17回世界湖沼会議」の場で、島根、鳥取、滋賀、長野、茨城5県の知事が発起人となり設立された。2018年10月10日付の設立宣言書には茨城県大井川知事、長野県阿部知事、滋賀県三日月知事、鳥取県平井知事、島根県溝口知事のサインが並ぶ。

設立宣言には、「持続可能な人と湖沼の共生を目指し、湖沼生態系から得られる恵みを回復し、維持するため」と目的が明記され、更に「今後、各自治体が連携し、課題を共有しながら、設立趣旨に基づいた様々な活動により、湖沼の水質や生態系を含む水環境保全に関する取組をこれまで以上に強化致します。」と書かれている。

しかし、諏訪湖クラブ会員として経過をみると、3年間に及ぶコロナ禍があったとはいえ、長野県内では全く連携の進捗状況が伝わってこない。この点は、宍道湖・中海の両湖を抱く島根県においても、琵琶湖を抱える滋賀県でも同様

である。滋賀県とは同県 0 市の老舗環境関連企業である H 社の技術顧問というご縁がある。

長野県は来年 4 月に岡谷市に諏訪湖環境研究センターを開設する。新所長の T 氏は前任地が琵琶湖環境科学研究所と聞くので、自治体連携に繋がることを期待している。

こうしたご縁を鑑みると、設立された自治体連携の進捗に技術士として寄与することは、“流域環境修復実学”を専門とする筆者の“公益確保の責務”に当たると考える。

霞ヶ浦がある茨城県に関しては長らく現地を訪れていないので、過去に収集したの茨城県内水面水試の資料が手元にある程度である。他の 4 湖沼 4 県には活動拠点を持つので、少なからぬご縁があり、できる範囲の資料収集に努めてきた中間報告でもある。

1-2 対象湖沼のニーズ等

対象湖沼の主なニーズ等の私見を以下に示す。

① 宍道湖：ヤマトシジミの漁獲量が最大関心事。2012 年の“都道府県別シジミ漁獲量島根 1873 トン全国 2 位 資源回復せず前年比 21%減”の記憶が残る。

また、比較的最近の資料であるが、平成 30 (2018) 年 3 月に、「宍道湖・中海再生プロジェクト宍道湖保全再生協議会研究概要報告書」(島根県農林水産部水産課)が公表されている。本報告はヤマトシジミの餌料について“ケイ藻”の優位性を複数の研究者が別々に執筆している特徴がある。この結果を見ると、ヤマトシジミに適した水質は“ケイ藻”優占の水質、即ちケイ酸(シリカ)に着目しなければならないということになる。

② 中海：硫化水素・貧酸素対策がニーズ。中止になった淡水化その他の事業で人為的に掘られた総計 3000 万 m³に及ぶと言われる浚渫窪地が貧酸素、硫化水素発生の主な発生源とされる。“石炭灰造粒物”による埋め戻し実験中。この件は項を改めて後述する。

また、島根県水試報告書に“中海藻貝(サルボウガイ)成貝生存率データ”がある。浚渫窪地が存在しない昭和 28 (1953) 年 10 月 14 日付で、酸化鉄により赤色を呈する赤土客土の有無による生存率の比較結果がある。客土区 87%、対照区 65%が示されている。

③ 琵琶湖：日本最大の湖沼らしく課題は多い。本論では 25 年前ほどに実施された、より高度な放流水を求めた“超高度処理実験”を挙げる。湖南中部浄化センター高度処理水の更なる改善“超高度処理実験”が平成 9 (1997) 年度から平成 12 (2000) 年度にかけて日量 6500m³の高度処理水を対象に、実施設及びパイロットプラントにより物理・化学的手法で実験がなされた。目標は達成されたが実施に至っていないのは、コスト面が課題なのであろう。コストが見合えば実施の可能性は残されていると考えている。

④ 諏訪湖：アオコ発生とワカサギ不漁の 2 点。流域下水道の高度処理水放流位置を下水道施設から 4.3 km 離れた天竜川の最上流、釜口水門直近にしたのも、緑のペンキを流したようなという形容に対する市民感情への配慮と見做せ

る。

また、前述の通り、来年4月、岡谷市に諏訪湖環境研究センターが開所される。阿部知事の公約に“泳ぎたくなるシジミが取れる湖”とあるので、研究と共に実践技術の検証も視野に入れて頂きたいものである。

⑤ 霞ヶ浦：現時点のニーズ等の情報が得られていない。取敢えず湖沼環境改善とする。

また、茨城県内水面水試の昭和56（1981）年の報告に、アオコの発生が著しい当時の湖水に珪酸ソーダ（水ガラス）を加えた実験結果がある。結果はケイ藻の *Synedra sp* の増殖倍率が100倍を示し、ワムシが4倍に増えたと報告されている。前者の実験を担当された水産部門技術士の知人から、水ガラスの溶解に当たってpHが上がらないように注意して実施したと言われたことが記憶に残る。

1-3 中海における石炭灰造粒物による埋め戻し実験

中海の“恵みの回復と維持”に向けた関係者による発信情報は、宍道湖と併せた資料も入れると、5湖沼の中で最も多い印象がある。水環境保全に限らず、蓄積情報の内容は結果的にプラスのものマイナスのものが含まれるのが常であるが、そのどれもが貴重な経験であり、他の湖沼の回復と維持の試行錯誤に大きな参考になるものと考えている。

“浚渫窪地の環境修復事業 第3期実施計画（案）”中海自然再生協議会 Ver. 20230621 は各湖の参考になる資料と思われる。第3期の文字が示すように筆者が島根入りできなかったコロナ禍による行動制限時期にも実験の停滞は無かったようである。

コロナ禍前の汽水研究会研究発表の場であったと思うが、「石炭造粒物は水質をアルカリ性にするので、有機物の分解に硫酸根の酸素を使う硫酸還元菌の働きを抑えることで硫化水素の発生が抑制できる。」との説明があった。筆者はそうであれば有機物が未分解で残る、この影響はないかと質問した記憶がある。その回答は硫化水素発生抑制が喫緊の課題であるので発生抑制を優先させているというものであった。

2000年代初め頃は、石炭灰中にクロムやホウ素の存在が知られ、公害物質に対する市民の関心が高い中で、洗浄等による無害化技術の研究が盛んだったようである。

最近では、“石炭灰造粒物”で検索をすると、渚への撒き戻しによる二枚貝資源推移実験の好結果、浚渫窪地を埋め戻した表層への底生生物の着底確認など水産に寄与する報告も多い。従って安全な物質として安心感に支えられて実験が進んでいると思われる。

しかし、昨年、石炭灰造粒物内の、ホウ素(B)、フッ素(F)、クロム(Cr)、ヒ素(As)、セレン(Se)等“規制対象元素”溶出量の基準値を上回る可能性を東京農工大がプレスリリースした。(2022年12月14日インターネット情報)

このように情報が錯綜すると計画通り予定実験を継続するか？の岐路に立たされる。

また、新たな知見の取り扱いをどうするか？等に当たって、技術士には“公益確保の責務”に則った上での試行錯誤が求められる。

後述する H 氏から、「浚渫窪地への石炭灰造粒物の投入の是非が議論された折、早稲田の先生が反対意見を述べられた。関東の先生が現地に来て中海の実験について意見を述べられることを不思議に思った」と伺った。

早稲田で浚渫窪地と聞くと、“ヘドロトラップ”の発明者の I 氏が思い浮かんだ。諏訪湖クラブ会長の沖野先生の早稲田での後任でもある。個人的な関係では、中学の生物の恩師である F 先生の兄弟弟子にあたる。筆者は I 中学、I 氏は F 先生が I 中から異動された O 中学生で化石採集が縁で、この世界に入られたというご縁がある。

反対意見を述べられたのを I 氏と仮定すると、「“ヘドロトラップ”を水底に掘ると約 20 倍の速度で有機物等がトラップ内に沈殿する。この沈殿物を搬出すれば底質環境全体の嫌気化が予防できる。沈殿物を除去しない計画には納得できない。」と発言されたのではないかと考える。

I 氏を知ったのは文献上であったが、当時地質調査所でご一緒だった Y 教授に紹介してもらい、先述の兄弟弟子であることが分かった。現エスチャリー研究所にも I 氏の共同研究者が居られる。筆者の想像通りであれば“神有月”が思い浮かぶ。

自然界では嫌気条件下で発生した硫化水素は鉄との反応で硫化鉄に変化して無害化する。更に硫化鉄に硫黄が反応して黄鉄鉱（パイライト）として安定することが知られている。また、塩淡境界における光合成細菌による硫化水素の資化も知られており、これらの現象の利用の可能性検討も、関連情報を知った市民から求められると考えられる。

1-4 宍道湖・中海における相談相手

筆者が宍道湖に活動拠点を持ってから 10 年以上が経過した。最初は斐川町の宍道湖西岸から 100m 程の店舗と住宅の敷地内に 10 年を期限に 10 坪の柱倉づくり（仮称）平屋を建てさせて頂いた。借地期限が過ぎ現在は松江市内のアパートに移動している。この間多くの方のお世話になったが、特に以下のお二人を紹介しておきたい。

① 宍道湖・中海の“さかなクン”と呼びたい JH 氏。H 元宍道湖漁協組合長から「宍道湖の魚のことを一番知っている組合員と紹介を受けた。{近世以降の日本における人と自然の相互作用～宍道湖におけるヤマトシジミ漁業を中心に～}」で 2007 年博士号を取得されている。複数の観測船を駆使した調査の実績から、多くの知見を頂いている。

② “神西湖・宍道湖・中海の熱血卒寿観察記録員”と呼びたい SM 氏。旧知の K 産業社長で、N 自然科学研究所所長の K 氏の紹介で知り合う。“水辺に夢を託して”と題する A-4 版の自費出版書は 4 冊目の著作である。

1-5 島根原発の存在

原子力発電所の事故は水産に間違いなく影響を与える。過酷事故でなくとも風評被害の影響は避けられない。筆者は 2015～2020 年、当個人研究発表で、門

外漢の立場を明らかにして“安全性に優れた小型原発—トリウム熔融塩炉と4S炉—”の話題提供を行った。島根原発で過酷事故が起きれば、宍道湖・中海への恵みの回復と維持の努力の全てはその瞬間に失われる。“湖沼生態系から得られる恵みの回復と維持”に関して原発の存在は無関係ではないのである。

C電力が稼働停止中のウラン軽水炉に見切りをつけ、原発事故は原理的に発生しない“トリウム熔融塩炉と4S炉”を必要量設置し、その完成を待って石炭火力を廃止すれば、CO₂発生量を減少させて地球温暖化に寄与するし、電力を供給の本業も向上する。且つ、高濃度放射性廃棄物の処分に道筋がつき、核兵器廃絶にも寄与できる。

巷では、抜本的、あらゆる可能性を排除せず、最近では異次元の、という言葉が安易に使われるが、上記のような決断を言うのではないかと思う。

石炭火力の廃止で石炭灰造粒物の供給は無くなるが、浚渫窪地の硫化水素対策が次章の生態系サービス技術に引き継がれると、底泥の酸化に電力を必要とするので、電力供給という本業に寄与できる。

水の流れて運ばれた土砂の流入と鉄との反応材で窪地が無くなった時点で豊かな中海が戻る。鉄との反応材とは硫化水素と鉄が反応した黄鉄鉱を指し、地質年代を経れば鉄鉱床になる。鉄床になる以前は“潜在的酸性硫酸塩土壌”と呼ばれ、この土壌の簡易な判定法を確立したのは島根県農業試験場である。

2. 浚渫窪地における“硫化水素対策”の対案と、下水道高度処理“ α 中腐水性水”の超高度処理“ β 中腐水性化”の対案

日本技術士会全国大会東北大会で、西沢潤一元東北大総長の基調講演を2回拝聴した。主なる論点は、“原発に反対なら対案を示せ。(西沢案は)全国の水力発電所をネットにして、高圧直流電流で送電ロスを限りなく減らした送電網を作れば、全需要(当時の)が賄える”だったと記憶している。それに倣い“硫化水素対策”と「“ α 中腐水性水質から β 中腐水性水質”への調整」の対案を述べる。

2-1 硫化水素対策の対案技術

筆者が習得した底質中の鉄を酸素の運び屋に利用する底質改善技術は、水産部門(増養殖)と応用理学部門(地球物理および地球化学)の経験論文として記述した、いわゆるヘドロ対策技術である。ここに至る間に、“低負荷・半回分活性汚泥法(通称複合ラグーン)”技術がある。筆者が、上下水道、衛生工学、農業(畜産)部門の技術士受験で書いた経験論文技術である。有機的汚水(下水、工場排水、養豚の尿汚水等)を、ヘドロを分級して得られたシルト・粘土含有水に置き換えてみた技術である。この技術開発は個人のシンクタンク“農村環境研究会(文京区 岸博代表)”が行い、アメリカ特許がおりている。

複合ラグーンは島根県旧S町に2ヶ所設置されており、米子水鳥公園の水処理施設は、湖水浄化と底質改善を実証する目的で設計されたものと承知している。

1990年には琵琶湖南湖赤野井湾で6か月間ESTグループとして、嫌気底泥の改善実験が実施された。揚泥作業と改善泥の性状確認は、自治体連携メンバー

の滋賀県が担当された。仕様書が残されていると思うので、自治体連携の共通資料として意義を持つ。

下図は筆者らが愛知県の唯一の自然湖沼、油ヶ淵（汽水湖）の2年間の実験で得たフローシートである。

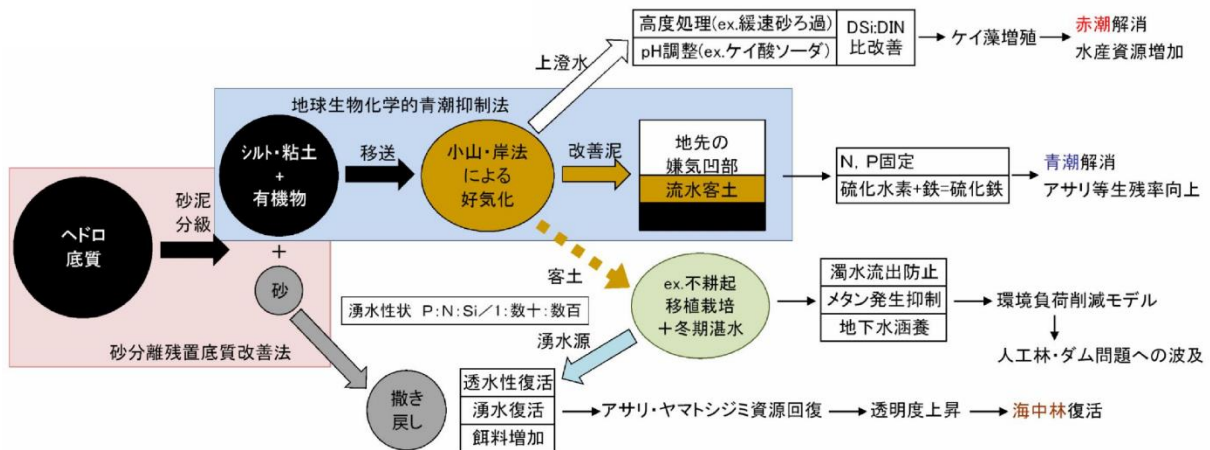


図-1 小山・岸式 底質直接浄化法

まず嫌気底泥を遠心分離法で砂と泥に分ける。砂はかつて豊富に漁獲されたヤマトシジミが好む底質で、自然の流れに任せて撒き戻すと、砂の堆積場所が多様化する。砂を分離した残りの「シルト・粘土+有機物（ヘドロ）」を污水に見立てて回分槽で、泥水流入⇒流入停止⇒曝気⇒ばっ気停止（沈殿）⇒上澄水引き抜き⇒引き抜き水槽においてケイ酸ソーダで pH 調整⇒放流。回分槽に残る黒色から褐色に変化（酸化）した改善底泥を浚渫窪地へ移送。比重調整が必要な場合は、改善泥貯留槽で静置した後、表層水を引き抜くことで行う。

回分槽の曝気工程で鉄酸化細菌と硫黄酸化細菌が働き、鉄バクテリアが赤鉄鉱の殻を作る。これを浚渫窪地に撒き戻すと島根県水試の赤土客土と同じ効果になる。（特許第 4842781 号）

処理水に当たる上澄水は酸性に傾くので、珪酸ソーダ（水ガラス）で調整する。pH 調整と同時にケイ酸（シリカ）が供給されるので、ケイ藻が優占する水質が期待できる。茨城内水面水試の実験結果の再現になる。

上記は人工的に酸化条件を作る作業であるが、自然環境からの入手も可能である。出雲市斐川町今在家用水路には鉄バクテリアが固形化した赤色泥の沈殿が普通に見られる。曝気にはエネルギーが必要になるが、ここでは無動力で反応が進んでいる。このような場所から移送すれば、少ないエネルギーで硫化水素反応材が入手できる。（特許第 6499562 号）

通常、湖沼やダム湖での貧酸素化抑制には、空気による酸素供給に頼る傾向が強い。技術の根本的な違いは、水中の飽和酸素濃度と鉄の存在量を比較して、どれだけの酸素が保持できるかの差である。

水中の DO（溶存酸素）濃度は mg/L のオーダーであるが、底泥中の鉄濃度は % オーダーである。保持できる酸素量に大差があり、ORP（酸化還元電位）の推移を把握して酸素要求量を知ることでもできる。

2-2 β中腐水性水質への調整

“湖沼水環境保全に関する自治体連携”に関連する湖沼は、“湖沼における下水道事業推進協議会”のメンバーと重なる。この協議会は目標を“将来世代に美しい湖を！！”として下水道による恩恵を求めてきた。

また、国交省と環境省が共同で水質と水生生物の関係を水質階級で国民にPRしている。それによればシジミ、アユ、ゲンジボタル等を指標とする水質階級Ⅱ（β中腐水性）が国民にとって好ましいと読める。

流域下水道の高度処理水は、COD（化学的酸素要求量）4～7 mg/L程度は水質階級Ⅲ（α中腐水性）程度。アユ、シジミ、カワニナ等はCOD 2～4 mg/L程度の水質階級Ⅱ（β中腐水性）の指標生物である。

上水の技術に“緩速ろ過法”があるが、表-1は過マンガン酸カリ消費量の工程毎の数値である。（岩瀬私信による）

表-1 緩速ろ過による原水・未ろ過水；ろ過水の水質

染屋、石船、若田のKMnO ₄ を図から解読 単位：(mg/L)				
項目	染屋 平水時	染屋全体	石船	若田
原水	5.7	6.4	7.7	3.3
未ろ水	4.3	3.8	4.1	3.1
ろ過水	2.6	2.4	1.9	1.4

言い換えると、流域下水道の高度処理水は上水の原水レベルまで処理されており、維持管理費の低廉な緩速ろ過法で、滋賀県が求めた超高度処理が実現できる可能性が示されている。

“緩速ろ過法”を改良した“生物浄化法”は、機能は維持しつつ、管理や施設の簡便化が進んでいる。下水道の高度処理水を、直接飲用に向けない生物指標による水質Ⅱ級・β中腐水性レベルに調整するための手段としては、粗ろ過槽前置した生物浄化法が適していると考えている。（特許第5917187号）

おわりに

最近手に取った本（古矢光正著“配管設計者がバラす、原発の性能”三五館2014）に、加圧水型原子炉（PWR）を採用した電力会社は、沸騰水型原子炉（BWR）を採用した社に比べ経済性より安全性を重視していると考えて良いとあった。

“湖沼水環境の保全に関する自治体連携”5湖沼で、人間の都合より、水産生物の都合を重視する必要がある、と読み替えてみた。

中海では石炭灰造粒物の浚渫窪地への投入や、浅場への直接、間接の集積があることを教えられた。このことが水産生物にとって都合が良いか悪いかを、「各自自治体が連携し、課題を共有しながら、設立趣旨に基づいた様々な活動により、湖沼の水質や生態系を含む水環境保全に関する取組をこれまで以上に強化」に則り“公益確保の責務”に意識して協働して取り組んでいきたい。 以上