

三次処理今昔夢譚

森山 清

神奈川県では平成 12 年度に宮ヶ瀬ダムが完成し、水源として宮ヶ瀬湖が湛水をはじめた。それまでの間、神奈川県下の各自治体では人口の増加と相俟って、下水道の普及に伴って増大する水需要に応えきれなくなる恐れがあった。

このため、横須賀市では昭和 46 年度から下町浄化センター内に当時の建設省土木研究所（以下「土木研究所」という。）と共同で、下水処理水を 9(m³/時)で処理できる三次処理(高度処理)実験パイロットプラント（以下「三次処理実験プラント」という。）を建設し、その後 9 年間の長期に渡り物理化学処理による下水処理水の三次処理実証実験を行うこととなった。

当時の水質汚濁の状況から、土木研究所は東京湾を始めとする閉鎖性水域の水質改善を行うことを実験の主たる目的としていた。一方、横須賀市では当時切迫しつつあった神奈川県下の水源の状況から、増大する水需要に応えるため下水処理水を高度処理し、中水道（工業用水）として供給することにより上水の不足分を補おうとする意図があった。これと同様の思想により、限られた水道水源の枯渇を防止しようとする試みは、現在も米国 San Diego 市の North City Water Reclamation Plant や South Bay Water Reclamation Plant で実施されており、効果をあげている。

さて、話を三次処理実験に戻すことにしよう。土木研究所は、昭和 46 年度(1971 年度)から二次処理水を対象に石灰凝集沈殿、脱アンモニア（アンモニアストリッピング）、再炭酸化・炭酸カルシウム沈殿までの三次処理実験プラントを建設した。土木研究所は、その後も昭和 48 年度(1973 年度)に、同一の原水につき同時に並行して石灰



凝集沈殿と硫酸バンドや PAC 等の凝集沈殿実験を実施するための設備を増設し、更に昭和 49 年度には汚泥濃縮・脱水設備を設置した。この間、横須賀市は昭和 46 年度に、土木研究所が建設した凝集沈殿設備の後段に急速ろ過設備を設置し、昭和 47 年度(1972 年度)には、更にその後段に活性炭吸着設備を、昭和 48 年度には逆浸透設備を設置した。これら、土木研究所側の三次処理実験プラントの整備を実施した当時の建設省土木研究所下水道部長は柏谷 衛氏、三次処理研究室長は安藤 茂氏で

あった。

三次処理実験プラントの設置と併行して、昭和 47 年度からは室内実験及び、プラントの運転・調整を行いつつ、石灰凝集沈殿等の実験を開始した。ただし、実験プラントによる本格的な実証実験は、昭和 48 年度から実施された。土木研究所が建設した石灰凝集沈殿、脱アンモニア、再炭酸化・炭酸カルシウム沈殿池等の施設は、当時、米国加州のリゾートであるタホ湖(Lake Tahoe)で稼働中の高度処理プラントの方式を模したものであった。

石灰凝集沈殿はリン除去に用いる処理方法の一つであるが、金属塩の凝集剤に替えて $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を添加する結果、沈殿処理水の pH が 10.0～11.5 に上昇する。これを利用して、沈殿処理水を脱アンモニア塔(気液接触塔)に送水し、A/W 比 (Air/Water)3,000～6,000 で大気中にストリッピングすることにより、処理水中のアンモニア性窒素の 75～85%を除去する処理方法である。

ところが、アンモニア性窒素の除去率向上を目的として、脱アンモニア塔へ送水する処理水の pH を 11.0～11.5 の処理条件に変更した際、塔内の充填材、配管内やポンプ内壁に多量の硬いスケールが付着し、度々運転の停止を余儀なくされた。後にこのスケールは、ヒドロキシアパタイト [$\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$] であることが判明した。一方、実験を継続するためには 40～50 日に一回、3%の塩酸を配管内に投入し、15～20 時間かけてスケールを溶解除去する必要があり、水温が低下する冬季は更に溶解除去の頻度を上げる必要があった。窒素・リン除去のために添加したカルシウム塩により生成したスケール除去のため、非常に多くの時間を費やさざるを得なかった。この当時、建設省土木研究所三次処理研究室の京才 俊則研究員が、頻発する実験時のトラブルに頭を悩ませながら、下町浄化センターに日参された時期でもある。

その後、昭和 51 年度(1976 年度)から 52 年度(1977 年度)にかけて、生下水や一次処理水(最初沈殿池流出水)について、物理化学処理の実験を行った。この当時、土木研究所側の実験の方針については、建設省土木研究所下水道部長 栗原 宗人氏、三次処理研究室長 安中 徳二氏らが決定した。

さて、脱アンモニア塔を稼働状態で維持・管理して行くために要する労力の大きさ肌で知り、個人的な所感ではあるが、私は窒素除去のためにアンモニアストリッピング法等の物理化学処理を、実際の下水処理プラントで用いることについて、懐疑的であった。

勿論、現在も国内で、処理対象となる汚水量が少ない嫌気性汚泥消化槽返流水に対し、MAP 法(Magnesium Ammonium Phosphate Process)と呼ばれる物理化学処理を行い、アンモニア性窒素とオルトリン酸を同時に除去し、肥料原料を製造するプラントが稼働している。しかし、現時点で当時を回顧すれば、この実験を実施し

た期間と同時期の 1972～1973 年に、南アフリカの Dr.Barnard が生物学的脱窒・脱リン法として歴史的な Bardenpho process を開発した。その後、同プロセス中の「脱窒槽(無酸素槽)」の前段に「嫌気槽」を置き、更に「リン除去」を確実にした Phoredox process を開発した。多量の流入下水中に含まれる窒素化合物の除去を目的として行う高度処理に限って述べるとすれば、この時点で既に舵が切れ、1980 年代前半には前述の生物学的な脱窒・脱リン法を用いた数箇所の下水処理プラントが建設され始めていた。

三次処理実験はこの後、9 年間の長期に渡り物理化学処理による実証実験を行うこととなった。残念ながら逆浸透までの高度処理に要する費用を計算すると、当時の上水単価の約 2.5 倍となり、「再生水」を水源とする中水道の建設は採算が見込めなかった。しかし、この一連の実験で、物理化学的脱リン法に関する多くの諸元、活性炭の再生による吸着容量の低下、再生に要するコスト、逆浸透装置の連続運転に伴う薬液洗浄の頻度や処理機能の回復等に関し、極めて多くの貴重なデータと知見が得られた。

一方で当時、一部の口さがない下水道関係者から、「タホの真似するアホ」などと手厳しい批判を頂いたこともあった。私はこの後の 1992 年 5 月、当時から個人的に所属していた IWA(当時の IAWPRC)の国際学会で発表のため、ワシントン(Washington, D.C.)へ出向く機会があった。米国加州サンフランシスコで乗り換えたユナイテッド航空機内で、偶然隣り合わせで窓側の席に座った河川管理の技術者だという米国人の男性が、離陸後しばらくすると「あれはタホ湖という有名なリゾートだ。ぜひ、一度行ってみると良い。」と教えてくれた。窓越しの眼下に、深青色に輝くタホ湖を始めて見た時、なぜか強い感動を覚えたことを記憶している。

時が流れ、2000 年から 2008 年までの間に数回、自ら運転するレンタカーで家内と共に米国内各地の国立公園を回り、トレッキングを楽しむ機会があった。その折に、加州のセコイア国立公園や、タホ湖の近くにあるヨセミテ国立公園に立ち寄ったが、特にタホ湖を見たいという気持ちにはならなかった。

さて、終わりに、横須賀市における三次処理実験終了後の水不足についてお話ししておくことにしよう。

時代が変わり、関東圏では数回の渇水を経験したが、前述のとおり平成 12 年度には神奈川県の水がめである宮ヶ瀬ダムが完成し、水源として宮ヶ瀬湖が湛水を始め、貯水量は 2 倍以上に増



加した。併せて、節水意識が向上すると共に節水型の家庭用電気機器等が普及し、県内の各都市における上水の給水量実績は年々減少する傾向を示し、水不足は概ね解消してしまった。

現在、我国は人口が減少する傾向にあることから、今後の「再生水」利用はエネルギー・フットプリント(**Energy Footprint**)を考慮しながら、資源の有効利用として位置づけ、従来とは異なる目的で使用される機会が増えてゆくものと考えている。