

工場排水と河川汚濁

京都大学工学部衛生工学教室* 岩井重久
南 部 梓 一

は し が き

昭和33年12月に「公共用水域の水質の保全に関する法律」ならびに「工場排水などの規制に関する法律」の公布をみて、ようやく工場排水による河川汚濁の問題も中央において取り上げられるようになってきた。わが国のように工業に重点をおき、その育成に努めている反面、水資源に期待するところが大きい場合には汚濁防止に当って要求される条件が多くなり、非常にむづかしい問題である。ここに工場排水による被害の実態を考察し、これを規正するための水質規準を論じ、放流後の河川汚濁問題につきとくに水中溶存酸素平衡と拡散希釈とを取り上げてわれわれの最近の研究状況を報告し、今後いかに工場排水と河川水とを管理するかについての私見を述べてみたい。

1. 本邦の工場排水による被害の実態

昭和25年6月農林省農地局調の近畿5府県における農業被害、昭和26年農林省調の近畿3府県の水産被害および昭和28年12月厚生省公衆衛生局環境衛生部調の飲料水被害を表一1, 2, 3に転載した。

表一1 近畿5県における農業被害(昭25.6)

府 県 名	被害 件数	被害面積 (ha)	被 害 原 因
滋 賀	1	1,131	工場排水
京 都	3	134	鉍毒もしくは鉍山廃液
大 阪	5	3,984	工場排水
兵 庫	9	238	鉍毒もしくは鉍山廃液
奈 良	2	25	工場排水
	2	40	鉍山廃液
	7	42	農薬害

表一1にみるように農業被害はやはり工場数の多い大阪府において著しく、約4,000haの農地被害が報告されている。表一2の水産被害は稚魚、魚卵、貝類致死、魚類逃逸、漁獲激減、活す内魚類致死であり、大阪府にお

表一2 近畿3県における
工場排水による水
産被害(昭26)

府県名	被害 件数
京 都	7
大 阪	70
兵 庫	15

表一3 近畿5県における工場排
水による飲料水汚染調査
(昭28.12)

府 県 名	件 数	被害人口
滋 賀	4	1,619
京 都	4	160
大 阪	21	35,923
兵 庫	0	0
奈 良	0	0

ける被害が圧倒的に多い。飲料水はわれわれの生活に直結するものであるが、表一3から相当の被害を受けていることがわかる。

工場排水の環境衛生に及ぼす悪影響としては、こうした飲料水源、遊泳場などへのフェノール、シアン化物、砒素化合物、クロム化合物、バリウム塩類、硫化物、塩素、メルカプタン等の毒物、有害物および、まれになめし皮排水中に含まれる B. Anthracis などの有害病原菌の流入による直接被害以外に、各種水道における浄水費用の増加、下水管きよへ流入する場合の管きよの腐蝕、下水処理上の障害などがある。その他経済上、美観上を含めたすべての障害を通じて、もつとも一般的に問題となるのは C.O.D., B.O.D. に関係する酸素消費物質を多量に含む排水が放流先の水体に生ぜしめて 3. で述べたい。

2. 水 質 規 準

清浄という言葉は相対的なものであつて、工場排水の放流をうけていない河川においても、河岸の樹木から朽落する葉、小枝、地表または地中を通つて流入する雨水などによつて土壌の有機成分が搬入され、厳密には清浄といえない。従つて、単に汚濁しているといつても、それが指している状態は莫然としたものだから、排水の処理効率をいくらにするか、また木質的には排水処理の必要性などの具体的問題について定量的な解答を導くため

* 京都市左京区吉田本町

には、排水の放流先河川の利用目的および利用度をまず考えなければならない。

河川水の用途は次の7つに大別される。1) 飲料水および一般家庭用水、2) 工業用水、3) 農業用水、4) 水産用水、5) 水泳および水浴用水、6) ポート遊びおよび観光用水、7) 運輸用水。

上記の順序は大体その用途で要求される水質の清浄度の高低順と考えておく、1) についてはきわめて清浄な水値が要求されるが、6) または7) ではその度合がづつと低くなる。

飲料水に関しては厚生省が水質規準を制定し、厳格に管理されており、3) ~ 7) についても従来各方面からいろいろな基準が提案され、注目される研究も少なくないが、1) - 8), 前記法律の公布に従い統一された規準の制定が期待される。

以上の考察では放流先河川の水質に注目しているが、これに対して放流排水の水質に注目すれば、また違った角度から水質規準を考えることができる。河川の水質管理行政がもつとも進んでいるといわれる米国について、水質規制の現況をみると、放流水規準を有する州は5州、流水規準を有する州は18州、また両者を有する州は2州となっており、水質規制の目的が放流先河川の利用度の維持、確保にあることを考え合わせれば、流水規準は水質規制の基本条件とみることができよう。一方、水質規制を行う技術的な面からみると、直ちに制御できる放流水自体に基準を設けておく方が便利であり、わが国の水質保全法はこれによっているが、この場合には流水規準と放流水規準との相関を科学的に十分解明し、把握しておくことが必要で、こうした裏づけがなければ、放流水規準の意義は薄れる。また、放流水規準をとる際には、将来の放流排水の増加を考慮して安全率を見込み、工場の増設にともなる放流排水量の増加があつても、下流の利水に何等障害が起らないようにしなければならない。

3. 排水流入と流入先河川の水質

河川に放流された工場排水は河川の自浄作用により、流下につれて漸次汚染度をてい減する。河川の自浄作用は生物学、化学、物理学的な性格をもち、これを詳細な点にまで至つて解析しようとするに莫大な労力を要し、未知の問題も多多残されているが、河水中のD.O. (溶解酸素量) やB.O.D. (生物化学的酸素要求量) の変化およびその水体の水理、水文学的な流況や拡散希釈、沈積を考えれば、河川の浄化効果に関する基本的事項は明らかにされる。

河水中のD.O. は放流された排水中に含まれる有機性汚染物質の分解過程を直接または間接的に支配し、ま

た、その進行程度をあらわすが、同時に、生物化学的自浄作用を司る微生物の生育などとも関連し、きわめて重要な意義をもつものである。一般に清浄な河川水のD.O. は飽和量に近いが、放流された有機性汚染物質の分解が完了するために必要なD.O. が河川水中に含まれているかまたは大気からの酸素の供給が十分であつて河川水が常に好氣的な状態に保たれているならば、放流汚染物質は好氣的に分解されて安全なものになり、汚濁様相を呈することが少なく、プランクトンなども十分生存可能である。これに反し、河水中にD.O. が不足していると、放流汚染物質は嫌氣的分解を受け、河水は不透明となり、黒濁や悪臭をとめない、プランクトンなども死滅する。このように河水が腐敗すると、環境上の問題に加えて魚族の死滅など種々の弊害が起るから、これを常に好氣的な状態にしておくことが望ましく、そのためにもD.O. の挙動を十分把握しておかなければならない。

河水中には放流汚水の生物化学的酸素要求による酸素消費(脱酸素反応)に対して大気中の酸素ガスまたは緑藻類の光合成によつて放出された酸素が供給(再曝気反応)され、この両者の平衡関係は河水中のD.O. を規制する。

河水中のD.O. 分布を律する基本式としては次式が与えられており、

$$\frac{dD}{dt} = K_d L - K_r D \quad (1)$$

式(1)を積分すれば次式がえられる。

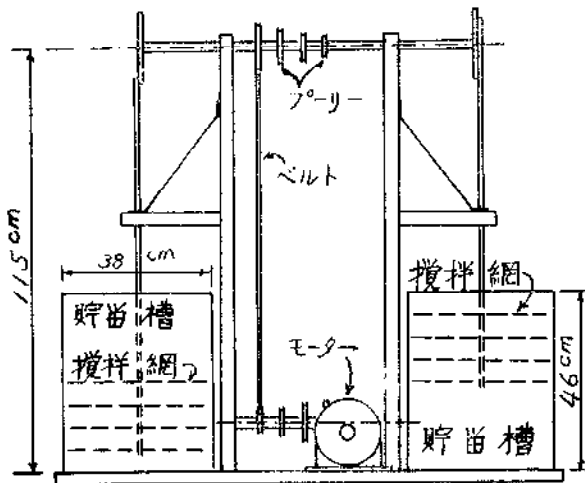
$$D = \frac{K_d L_0}{K_r - K_d} (e^{-K_d t} - e^{-K_r t}) + D_0 e^{-K_r t} \quad (2)$$

ここで、D = 溶存酸素不足量、D₀ = 最初 (t = 0) のD、L = 残留B.O.D. = L₀e^{-K_dt}、L₀ = 最初のB.O.D.、t = 時間、K_d = 脱酸素反応恒数、K_r = 再曝気反応恒数。

式(1)の右辺第1項は脱酸素反応、第2項は再曝気反応をあらわしている。Streeter-Phelps⁹⁾は恒数K_dをBOD試験によつてえられた標準状態の脱酸素反応恒数K₁とし、K_rについては、多くの実河川についての観測結果から式(1)にD、L、K_dの実測値を代入して求め、えられた値とそのときの河川流速、水深および勾配との関係を経験的に導いて実験式を求めている。また、O' Conner-Dobbins¹⁰⁾はガスの液体への吸収率と水流の乱れの強度および大きさとの関連からL₀ = 0の場合のK_rを理論的に導いている。その他、K_rについては各種の式が提案されているが、^{11) - 15)}L₀ = 0といつた特殊な条件のもとで導かれているものがほとんどである。一方、実際の酸素平衡について考えてみると、ここでは脱酸素および再曝気反応が同時にしかも相互に干渉し合つて作用しているから、先のようにK_d、K_rを独立して求めるという考えは本質的に疑問がある。

著者らは、流水中の酸素平衡はどうしても脱酸素と再曝気反応とが同時に作用している環境において解析してゆかねばならないという考えのもとに図-1に示す装置を考案、製作し、実験を続けてきた。

第1図 酸素平衡実験装置



本装置は 50ℓ 容のホウロウ容器、攪拌格子、変速装置および攪拌動力源から成り、攪拌格子は真ちゆう製金網（網線径1mm，網目5mm）4枚を3cm間隔に取り付けている。変速はプーリーの組合せによつて行い、格子の上下動周期が22, 30, 35, 40回/分に変えられる。

実験に当つては pasveer¹⁶⁾ の人工汚水を貯留槽に入れ、攪拌開始後、一定時間間隔で試料の D.O. を測定してゆき、人工汚水の濃度および格子の攪拌速度を種々変えた場合について、えられた D.O. 一時間曲線から式(2)によつて K_d , K_r を求め、汚水濃度が K_d , K_r に与える影響と攪拌による効果をみてみた。

その結果を要約すると、同一攪拌速度であつても、汚水濃度が変化すると K_r の値が顕著に異なり、濃度の増加につれて K_r は大きい値をとる。また、 K_d も同様の傾向を示すが、 K_r にみられるほど著しい変動はなく、汚水濃度が BOD₅ 値で 20ppm 以上になれば、ほぼ一定値に収斂する。さらに引続き行つた尿尿を使った実験、人工汚水を琵琶湖疏水の自然水にて希釈した場合、また、脱酸素蒸溜水を使った実験の結果とあわせて、流水中の酸素平衡は 1) 河水中の生物相、2) 河水中の微生物の栄養源、3) 放流汚水の最初の B.O.D. および K_1 、4) 水流の再曝気効果、5) 水温、によつて規制されることを確かめた。

本装置と実河川との相似については、現在、淀川で詳細な観測を行つて検討中であり、理論的にもはつきりした根拠がえられれば、本装置によるこうした新解析法は河水中の酸素平衡ないしは放流排水の好気性分解過程を解析するに当つて高く評価されよう。

以上の実験結果からみると、放流排水中の有機性汚染物質含有量は河川の浄化効果と密接な関係にあり、こうした点に考慮が払われていない Streeter-Phelps 流の解析では、とくに B.O.D. が大きい場合には、 K_d および K_r を過小に見積る恐れがあり、場合によつては危険側の結果を導き、不当に高率な排水処理を要求するようになりかねない。

次に放流排水の拡散稀釈については間けつ放流と連続放流とによる場合が考えられ、詳細は後記の文献を参照されたいが、¹⁷⁾⁻¹⁹⁾ 放流排水の稀釈率に関して次の結果がえられている。1) 稀釈率（放流排水濃度と放流先河川の汚染物質濃度との比率）は排水の放流速度 $V_0/U < 0.5$ では排水の放流速度の相違は稀釈率に関係しないが、 $0.5 < V_0/U < 1.0$ になると、稀釈率は放流速度に比例して大きくなり、 $1.0 < V_0/U$ では逆に減少する。2) 本流の水流状態が及ぼす影響として、水流の乱れが大きいほど稀釈率は大きく、放流口付近の水域では本流の水流状態は稀釈効果にあまり関係しない。

従つて、排水の放流速度はいたづらに大きくとる必要はなく、放流先河川の平均流速程度で放流するのがもつとも効果的であり、放流口の設計に当つてはこうした点についても十分考慮が払われるべきである。

4. 排水および河川水の管理

放流先河川の利用度が決り、これに応ずる水質が定まると、前述したように必然的に放流排水の水質が規制される。河川の自浄作用は流速、流量、乱れの強度などに支配されるから、同一河川に同一地点から排水を放流したとしても、濁水、平水、豊水時によつて異なつた効果を示す。また、生物相も重要な支配要素となつていことから季節的にも相違する。従つて、流水規準が決定されてもそれに対する放流水規準は放流先河川の水状態、また季節によつて違つてくる。このため、放流水規準はあるていど幅をもたせておくことが必要で、その方がむしろ効果を上げることができよう。

こうして放流先河川の関連とから放流排水の許容汚染度が決定されると、はじめて排水処理の問題が起つてくる。この場合、要求処理効率が定量的に決つてくるから、その効率をうるに必要な処理施設を建設すればよい。下水道法施行令、第6条には「放流水の水質の技術上の基準」として表-4を規定している。

表-4は表示の施設によつて排水を処理した場合に一般に期待できる処理排水の水質を示し、施設を十分注意して管理していれば、この程度の効率をうることは困難でない。従来、施設さえ作れば、排水を処理できると安易に考えて管理を怠たり、せつかく高級な施設を建設したにもかかわらず、維持管理上の不手際とあいまって、

表-4 放流水の水質の技術上の基準

区分	項目	水素イオン濃度 (水素指数)	生物化学的 酸素要求量 (単位1ℓにつき 5日間にmg)	浮遊物質 量 (単位1ℓにつき mg)	大腸菌群数 (単位1cm ³ に つき個)
	活性汚泥法, 標準散水ろ床法その他これらと同程度に下水を処理することができる方法により下水を処理する場合	5.8以上8.6以下	20以下	70以下	3,000以下
	高速散水ろ床法, モディファイドエアレーション法その他これらと同程度に下水を処理することができる方法により下水を処理する場合	5.8以上8.6以下	60以下	120以下	3,000以下
	沈澱法により下水を処理する場合	5.8以上8.6以下	120以下	150以下	3,000以下
	その他の場合	5.8以上8.6以下	150以下	200以下	3,000以下

その機能が十分に発揮されていない例がしばしば見受けられている。排水の質が悪くて高級な施設を用意しなければならない場合にはそれだけ管理を十分に行う必要があり、管理に注意しなければ高級な設備をもつていても無意味といえよう。

このように処理施設を慎重に管理し、その機能が十分に発揮されるよう努力することはもちろん必要であるが、さらに、処理排水が下流の利水水域の水質にどの程度影響しているかについて常に科学的な資料を用意しておかねばならない。これは、前述したように河川の自浄効果が時期的に相違することから、経済的な排水処理を行う上に必要なことで、この場合の調査においては、水質試験などの化学的観測の外、水流観測および生物学的観測も必ず行うべきである。

む す び

上記した以外にある種の工場排水に対する生物学的処理の有効性、放流先河水中の生物学的汚染指標の重要性、排水の感潮河川や海洋へのへの放流問題^{20) 21)}、近來脚光を浴びてきた放射性排水の処理²²⁾と放流後の問題など、種種論議すべき事項も少なくないが、これらについては次の機会に拙見を述べることにしたい。

文 献

- 1) Kehoe, R. A., Cholak, J. and Largent, E. J., The Hygienic Significance of the Contamination of Water with Certain Mineral Constituents, Jr. Amer. Water Works Ass., 36, 645, 1944.
- 2) Comly, H. H., Cyanosis in Infants Caused by Nitrates in Well Waters, Jr. A. W. W. A., 129, 112, 1945.
- 3) Gillette, L. A., Miller, D. L. and Redman, H. E., Appraisal of a Chemical Waste Problem by Fish Toxicity Tests, Sew. Ind. Wast., 24, 1398, 1952.
- 4) Mckee, J. E. and Bacon, V. W., An Analysis of Water Quality Criteria, Proc. Amer. Soc. Civ. Engs., sept. No. 231, 1953.
- 5) Wilcox, L. V., Classification and Use of Irrigation Waters, U. S. Dept. Agr. Cir., 969, U. S. Govt., Printing Office, Washington, D. C., 1955.
- 6) Tarzwell, C. M., Water Quality Criteria for Aquatic Life, Trans. Seminar Biol. Problems in Water Poll. Robert A. Taft San. Eng. Center, Cincinnati, Ohio, 246, 1957.
- 7) Buck, H. D., Effects of Turbidity on Fishing, Trans. 21st, No. Amer. Wildlife Conf., 249, 1956.
- 8) 田辺弘, わが国公共水の汚濁とその防止対策, 昭和30年6月.
- 9) Phelps, E. B., Stream Sanitation, Jhon Willey and Sons, Inc., New York, N. Y., 1944.
- 10) O'Conner, D. J. and Dobbins, W. E., The Mechanics of Reaeration in Natural Streams, Proc. A. S. C. E., 82, SA6, 1956.
- 11) Velz, C. J., Deoxygenation and Reoxygenation, Trans. A. S. C. E., 104, 560, 1939.
- 12) Holroyd, A. and Parker, H. B., Investigations on the Dynamics of Aeration. The Aeration of Clean Water, Jr. Inst. Sew. Purif., 292, 1949.
- 13) Holroyd, A. and Parker, H. B., Investigations on the Dynamics of Aeration. The Effects of Some Surface Active Contaminants, Jr. Inst. Sew. Purif., 280, 1952.
- 14) Pasveer, A., Research on Activated Sludge. I. A Study of the Aeration of Water, S. I. W., 25, 1253, 1953.
- 15) Pasveer, A., Research on Activated Sludge. VI. Oxygenation of Water with Air Bubbles, S. I. W., 27, 1130, 1955.

(以下11頁へ)

(19頁より続く)

- 16) Pasveer, A., Research on Activated Sludge. V. Rate of Biochemical Oxidation, S. I. W., 27, 783, 1955.
- 17) 岩本重久, 合田健, 植松邦彦, 南部祥一, 放射性廃水を河海へ放流した場合の拡散稀釈について, 日本学術会議, 第1回原子カシンポジウム報文集, 574, 昭和32年.
- 18) 南部祥一, 放流汚水の拡散稀釈に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第59号, 26, 昭和33年.
- 19) 岩井重久, 汚染対策—主として公共水について, 土木学会関西支部, 昭和33年3月.
- 20) 岩井重久, 合田健, 筒井天尊, 南部祥一, 松永一成, 第3次大阪市内水流および水域汚染に関する実態調査報告書, 昭和33年4月.
- 21) Takeshi Goda and Shoichi Nambu, Some Considerations on River Pollution Mechanism, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto Univ. Vol. XXI, Part I, 57, 1959.
- 22) 岩井重久, 放射性廃水の処理, 土木学会誌, 43, 5, 昭和33年.