

浅海に於ける工場廃水の影響に関する研究

新田 忠雄

(内海区水産研究所)

〔1〕 緒 言

戦後工場廃水問題が極めて活潑に取上げられるようになった。これは戦後工業が非常に復興し戦時中一時工場の中止により清浄になった海面が再び汚濁ははじめ或は工場誘致により新たな工業が開始された事などが関係すると共に、これまで問題にしなかった汚水問題が一般の声に刺戟されて取上げられるようになり、更に漁民の零細化や漁場の変動による齟齬を工場汚水に結付けたりする場合など色々の原因によるのであろう。これに対し多くとられる解決は力関係による話し合いに終る実状であり⁽¹⁾何らかの納得のいく解決策が望まれる。これについてまず考えられる事は法律をつくる事であるが、大正13年以来法案をつくる努力が払われているのにいまだに成功していない⁽²⁾。唯ここで考えたい事は法案が通らないために汚水問題が解決しないという事でなく、わが国の汚水問題の特殊性を一応ふり返って考えてみたいと思うのである。従来考えられて来た工場廃水問題は如何なる性格をもっているかを考えるなら我国の実状との相異に気付くはずである。歴史的に見ると、汚水問題は大陸の河川に臨む都市の伝染病予防を目的とした下水処理の改善から工場廃水処理にまで発展した⁽³⁾事を思うとき工場廃水問題といわれるこれまでの問題の中心的な考え方は河川に於ける衛生問題を第一としそれに適応する対策であった。これに対し全くちがった浅海に起る廃水の水産業に対する被害を問題にする場合には同じ考えかたをあてはめる事には無理がある事を忘れてはならない。

工場廃水が浅海に流入すればそこで養殖漁業は影響を受け、又おそらく釣漁業等の好漁場とされた特定の地域はその価値を失なうかもしれない。更に漁獲物を生簀に入れておく事のさまたげになるかもしれない。どれも廃水の影響水域内において起る問題である。浅海では河川でいうように廃水は自然水で10倍に稀釈されるのだと簡単にいうことは出来ず実際どこまで影響が及ぶかが中心問題となり、その影響圏内で問題が起ったか否かが工場の責任か否かを定める基礎となるのだと考えられる。浅海の工場廃水問題を解決する方法は廃水の影響圏を正しく捕えてそれを基礎にして問題をを進める事だと考える。

〔2〕 廃水の影響地域に対する研究

廃水の影響地域は廃水が直接拡がっている地域と廃水の沈澱物が海底に与える影響地域に分けられる。

2.1. 廃水の分散に関する研究

(2.1.1.) 廃水分散を支配する要素⁽⁴⁾ 廃水は海中に流込むと浮上って表面を拡がっていく。表面に浮上した廃水がどの位の距離でどの位に稀釈されやがて分らなくなるかが極めて重要な問題である。しかしこの稀釈が極めて早く行われる事は廃水量の多い或る工場の例⁽⁵⁾でその前面海中に識別出来る廃水量はその工場の廃水の2時間分の水量もなかった事から分る。このような稀釈は如何にして行われるかについて模型実験により考察を行った。実験方法は水槽に塩酸を少し加えた海水を入れその海水中に注入する試験水としてはアルカリを少し加えた淡水をフェノルフタレンで着色したものを使用した。アルカリにより着色した色素の色が海水と適当に混合されるとアルカリ性がなくなり色が消える事を利用し、アルカリの濃度を加減することによりその水が何倍に稀釈されたら色が消えるかを知る方法をとった。この実験で知り得た事は分散を促進する最大のものは表面に分散された廃水が風及び浪の力により海水と混合されることである。又廃水が海中に流入する時にその注入力による稀釈も大きい。更に又稀釈水量が豊富なことは必要な事である。これらの項目に対しその他の考えられる要素すなわち浮上する力、水面を拡がる力、又自然に行われる濃度差のある水塊相互の拡散力、水の流動にのる移動等は大した大きな稀釈力を示さない事を知った。このように廃水が海水中に流入する際第一次の稀釈が行われ、これが海面上に浮上拡散されて表面に拡がっていく際に風浪による攪拌が行われて稀釈程度が進み識別し得ない程度までうすめられることになる。

(2.1.2.) 廃水分散の形態及びその計算式⁽⁶⁾ 廃水は特に大きな風や潮流が働かなければ海水表面上に廃水口を中心とした半円形(或は半楕円形)に拡がるものと思われる。これに対し

$$Z - Z_0 = \frac{n \frac{b}{\mu k}}{x} - \frac{n \frac{b}{\mu k}}{x_0}$$

なる式を与えた。(廃水口からの距離を x とし識別し得る限界点の距離を x_0 とする。 Z は x の濃度、 Z_0 は x_0 の濃度、 n は原廃水の濃度、 b は単位時間の廃水量、 μ は

拡散の常数, k は等濃度面に関する常数とする。) この式で岩国の或工場の廃水影響面積を計算したが大体あてはまるようであった。

(2.1.3.) 分散形態の変化⁽⁹⁾ 前に述べたように廃水分散の基本的な形は廃水口を中心とする半楕円形であることは模型実験でも現われることであるが実際の水域で廃水が分散する形には色々の他の条件も加わる事になる。廃水分散の形を一応分類してみると次の如くである。

- A. 開豁な地形の廃水分散
- B. 川口、入江における廃水分散
- C. 前に島のある地形へ流入した廃水の分散

ここでAは基本的な半円形に分散し、潮流や風によりその面積の範囲で左右に変形される。潮流の変化によっては廃水の形は常に変化するので影響域は固定されたものでない。

Bについては特別で、すなわち上げ潮では川口又は入江の口附近に濃度差のはげしい所が出来て、廃水(又は川水)の影響はあまり外には見られない。満潮をすぎると廃水又は川水が一度に外へ拡がって広い影響水域を示すことになる。この影響水域は下げ潮の時間と共に変化し、やがて消滅する。この形態には勿論潮汐の影響を受ける川口(又は入江)の広さ、及び注入水量が関係し、それに応じて上げ潮の間に見られる濃度差のある地域の位置に変化がある。

(2.1.4.) 浮遊物質の動き⁽⁷⁾⁽⁸⁾ これまで述べた事は溶解性のものを含む廃水の問題であったが、浮遊物の混入は溶解性のものとは多少ちがいがあつた。すなわちこれら稀釈の効果のあがらぬ廃水中の浮遊物は可溶性物質の稀釈には取り残されるためこれらの浮遊物は带状に引延ばされ、又潮流があまりないと廃水口附近にいつまでも混濁状態を示すことになる。

2.2. 泥質の影響区域についての研究⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

廃水の影響水面は風や潮流による変化が大きいが、海底に沈積した沈澱物により現われる影響区域にはそのような短時間の変化はない。泥の特徴を捕える方法としてC.I. 曲線(Cameron Ignition loss Curve)なる図を画きそれによって比較検討する方法を考えた。これは泥の過マンガン酸カリ消費量(乾泥1gに対する酸素量mg)を示す。尚以下C.O.D.と略記する。)を縦軸に灼熱減量(%を示す。以下I.L.と略記)を横軸にとってその関係曲線を描いたものである。I.L.は主として有機物を示し、その全量を標示するが、C.O.D.は有機物の内15分間沸騰浴でアルカリ性酸化を行ない現われる量で、これは成分の構造上から、又その還元状態の差からも酸素の要求量に相違があり従つて全有機物に対するC.O.D.は泥質により相違するはずである。C.I.曲線を求める上で

一応基準曲線を定め、それと比較する方法をとつた。基準曲線の泥は広島近海の廃水の影響の少ない泥で、これにより示される範囲はC.O.D. 30mg/g以下I.L. 10~15%に入り原点から出発し、I.L.の変化につれC.O.D.の増加率のまず二本の曲線で囲まれている。泥のC.O.D.には年変化があり、冬小さく、夏大きく、又雨が続けば減少するようになる。又C.I.曲線にも年変化が見られ春から夏にかけて曲線は左に移行する。(これはI.L.が減少する方向である。)C.I.曲線による考察法は海底の地域を細かく区分けして採掘しそのC.I.曲線の図上に地域と関係を持たせた各groupを分け、このgroupが基準線に比べどこにあるかによって特徴づけて考える方法である。次にC.I.曲線上で特徴のある泥をあげよう。

(2.2.1.) 工場廃水、都市下水等が関係する泥 パルプ工場、レーヨン工場、都市下水等の関係泥は基準線よりもI.L.が少ない所に現われる。工場が新しく起されて、その影響が現われるようになるとその泥の図上の点が左に移動して基準線から外れるようになる。パルプ影響泥などはかなり広範囲に、人絹ではその範囲は極めて少ないが、やはり同様に現われる。

(2.2.2.) 醗酵泥 醗酵工場等有機物の多い浮遊物が多量に沈澱した所や浚漕工事をして深くなった所、又は港の中などでは、原点からはほぼ直線的に並んでいるように見える。(I.L. 40%, C.O.D. 180 mg/g という大きい所まで現われる。)大体C.O.D. 30mg/gより大きい事は他と特に違つて目に付く事である。

(2.2.3.) C.O.D.の少ない泥 雨が続いたとき、C.O.D.は非常に少なく出る事がある。又鉱山の尾鉱で埋立てた所から流れた泥にも、更に又理由はあまり分らぬが、鳥貝がとれぬ問題があつた所の泥も極めて少ないC.O.D.を示した。

(2.2.4.) 川口の泥 川口の泥はC.O.D.が大きく現われる。これが洪水に際しては更にC.O.D.が大きくなり、洪水からの日数の経過と共に減少する。

以上の如く、それぞれ泥により分散域に差が出来るので一つの海域について泥のC.I.曲線上の分布位置により泥質を区分けすることが出来る。この方法により浮遊物の影響地域を海底図上に示しその影響の有無を知るとは容易に出来る事である。

[3] 生物は如何なる廃水の影響を受けるか

生物が如何なる影響を受けるかを知るには二つの面であらわれる。一つは調査しやすい生物を利用して実際の汚濁水域で調査する事であり、他の一つは実験的に、水族が如何なる影響を受けるかを判定する事である。

3.1. 汚濁水域の調査により知り得る生物の受ける影響

海域に見られる生物の内どこにも必ず居るはずの生物を調査して影響の有無を判定することは出来る。これに利用し得るものは沿岸岸壁等に棲息する生物（以下岸壁生物と書く）、海水中に棲息するプランクトン、泥土中に棲息するベントスである。

(3.1.1.) 岸壁生物の調査⁽¹⁴⁾ 巻貝類（レイシ、タマキビ等）、二枚貝類（カキ、イガイ、ベニエガイ等）その他フジツボ、ウノアシ、ヤドカリ等の小動物、アオサ等の藻類はどこかの岸壁にも附着している。唯生物の棲息は岸壁附着地点の差による影響が大きいから生物の量により比較する事は困難であり、生物の種類の数で比較すれば比較出来る。又特別な生物例えばカキなどはその存否を考える事が役にたつ。それらの比較検討によりどこ迄影響が強いかを表わすことが出来る。

(3.1.2.) プランクトンの調査⁽¹⁵⁾ 廃水は海の表面を流れるため縦にネットを曳いたのでは差が捕えにくく、表面を横にネットを曳くことは効果がある。或るパルプ工場の調査で、廃水口近くに横曳で動物性プランクトンのない事を見た。この例では廃水口のすぐ近くは縦曳横曳ともに動物性プランクトンがなく、少し離れると横曳のみになくなり、更に離れると動物性プランクトンが横曳の資料中に現われている。

(3.1.3.) ベントスの調査⁽¹⁶⁾ 底棲生物による地域の差を見ることはよく行われているが同様に廃水の影響もこのベントスに現われている。ベントスに就てはベントスの全く居ない所、及びベントス中特定のもの例えばヒメミズがいらない所の二つの段階を分けて考えられる。

3.2. 水産物の受ける廃水の影響

(3.2.1.) 貝類、海藻類等の養殖生物 これらが廃水の影響を受けると、養殖生物は逃げる事が出来ないから育たぬものは最初から育たぬし残るものは残る。しかし又若し不時に悪い廃水が出ると、それ迄生育した養殖生物を一度に駄目にする力を発揮する。そこで廃水調査はこの養殖生物に対して致死量をしらべ、又種苗或は稚貝の生育調査により被害の有無を知る事が出来る。致死量については古くから魚類のそれが求められているが、アサリ、アオサを用いた実験結果は魚類の致死量と大差はない事を認めた⁽¹⁷⁾。

(3.2.2.) 魚類についての研究 養殖生物が自由に泳げないのに対し魚類は自由に行動するから、生簀に入った魚や網に掛った魚を除けば致死量を問題にするより魚の逃げる濃度を問題にすべきである。又若し致死量を問題にしても海に流れる廃水の影響域に魚類の致死量となるほどの濃度の水域はなく、あっても問題になる面積ではない。魚の逃げるのを示すのは嫌忌量であるが、又魚は逃げないが、棲息数の少ない地域があってもいい。

これを不好量と名付けた⁽¹⁴⁾。つまり魚にとって薬品の濃度の濃い所には魚が避けて近づかない（その限界が嫌忌量）、それより淡い所に魚は居るが少ない（その限界が不好量）、更に淡くなると魚は変りなく泳いでいるという事になる。

魚の不好量をしらべて分った事は⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾、薬品の種類によって魚には不好量も嫌忌量も現われず、魚はその薬品を避けることがなく従って若し致死量以上の濃度の薬品のある水に入れたときそれから逃げずに死んでしまう事である。魚が感じて不好量が現われる薬品は魚の皮膚を刺戟するか、又は嗅覚を刺戟する等の薬品である。魚の嫌忌量について魚の視覚及び嗅覚を喪失させた金魚で行った実験結果⁽¹⁷⁾では反応として視覚、嗅覚以外の要素に左右される場合、嗅覚に左右される場合、わずかに視覚が関係する場合は現われている。このように、嫌忌量、不好量共に魚類の感じる事は同一の感覚すなわち皮膚の刺戟、嗅覚、そしてわずかに視覚が関係する（金魚の場合）のであろう。それらの感覚に作用を及ぼさない薬品は従って魚がそれを避ける事もなく、魚自身がやがて斃死する結果を招くようである。

〔4〕 各種工場別の廃水被害の現われかたに関する吟味

問題のある種々の工場について調査した結果を工場別に整理すれば次の如くである。

4.1. パルプ工場について⁽¹⁸⁾

(4.1.1.) パルプ工場は廃水量が多い。しかも C.O. D. の大きい廃水である。従って不好量の限度にいく迄には何百倍かに稀釈されねばならぬ場合もある。従って例えば岩国の 8万 ton/day の廃水を出す会社の影響域は半円に計算し直して半径 1000m 余になっている。河川などでは稀釈水が足りないときには相当川下まで影響がつづく事になる。廃水は着色しているが、これは稀釈状態を識別するには好都合である。

(4.1.2.) パルプ廃水中の浮游物は一般に問題視されている。しかし実際の工場ではこの対策が不完全で浮游物が流れる場合が多く、ひどい例では排水口附近がパルプ屑の為酸酵泥となっていた。

(4.1.3.) 製紙工場で晒液を流して被害の問題を起した例がある。

(4.1.4.) パルプ工場の影響域は C.I. 曲線により明かに示し得る。その範囲は工場正面では半円で示した水質影響地域に等しい位あり、沿岸ぞいには更に遠くおそらく潮流等で廃水が及ぶ範囲まで及んでいる。

(4.1.5.) パルプ廃水そのものにより生物の受ける影響は岸壁生物、動物性プランクトン、ベントス共に影響範囲が現われている。又前記の廃水影響域が 1000m で

あった例では不好量が 800m 余の半径の所であると計算される。パルプ廃水は不好量を示すからその中は漁にとっては不利な地域となる。

4.2. 人絹工場について⁽⁸⁾

(4.2.1.) 人絹工場の水量は多く、パルプ工場に劣らないが、成分は問題点が酸性である事と海に入り白濁すること位である。酸性である事は海では問題にならぬ。(川でレーヨン廃水がノリに害を与えた例がある。) 白濁については会社側もその対策に困っているようである。泥についてはごく近くだけ C. I. 曲線で影響泥が見られる。

(4.2.2.) 生物に対する影響は嫌忌量では現われなかった。白濁と不好量についてはまだ確かめていないが問題がありそうである。生物相の調査では岸壁生物、藻場ではごく至近距離だけに影響が現われている。緑カキと人絹工場の関係は分らないが、カキが廃水の影響を受けるようにも思われる。或る工場ではカキは緑色ではなかった。又他の工場で近くにカキが乏しかった。

4.3. 澱粉工場について⁽¹⁸⁾

澱粉工場は廃水の水量が極めて少ないから稀釈がよく行われる場合問題はない。廃水が流入する所が悪く問題が起り、廃水口の位置を変えて問題の解消した例がある。澱粉工場の廃水は C. O. D. が大きく、又嫌忌量が現われる。この廃水が泥に滲込み酸酵して問題を起した例がある。

4.4. 醗酵工場について⁽¹⁹⁾

三田尻湾の例について考えると、この工場の廃水流入地点は港の奥で極めて地形上不適當である。工場の廃水量は極めて多く、又有機物及び浮游物に富んでいる。そのため表面の水質及び底質は悪化し、船溜りの中は岸壁生物、底棲生物はない。表面水は強い還元状態にあり他の海水と混合したとき相当多量の水中の酸素を消費する力を持っている。水質はこのように表面が悪化していると共に底質の影響により底層水も悪化している。

4.5. 其他の工場⁽²⁰⁾

(4.5.1.) 銅を含む廃水について、これまで緑ガキの問題でかなり論議があった⁽²¹⁾。銅を含む水は海水と混合し多くの銅は沈澱するが、尚残った銅があり、そのため緑ガキを生ずるのであろう。全く例外的な事故で被害のあった例がある。

(4.5.2.) 石灰を含む廃水、Ca イオンは少しあっても生物に害はないようである。むしろ生長によい事を硅藻の飼育、貝の生育状態から考える。勿論水の pH が変れば別の問題だと思われる。

(4.5.3.) 油が問題となる廃水 油の限界濃度が考えられているが⁽²²⁾、極く少くともノリに附けばそのノリは食用にならなくなり、従って許される限度よりむしろ被害のない方法をとる必要がある。

4.6. 泥の被害⁽²³⁾

泥の被害は北海道でしばしばあげられている⁽²⁴⁾。泥について被害のあった二例につき、C. I. 曲線を用いて問題の説明に役立たせたが、特別な泥と考えられる場合、C. I. 曲線により泥の被害を判定する事は出来そうに思う。

4.7. 都市下水と工場廃水⁽²⁵⁾

工場廃水の加わった都市下水が非常に悪化している例を見る。従って下水に加わる工場廃水には充分監視の必要がある。

〔5〕 今後の問題に就て

工場廃水が浅海に及ぼす影響について、これまでその工場の排水口の位置を基準として分析其他の手段により、一応認め得る影響圏を求める事について論述して来た。

さてここで一応振返ってみる必要のある事は廃水の影響が排水口から順次稀薄になりやがて分らなくなるはずだとしてその影響圏のみ見て来た事でよかったか否かの点である。或は場合によってはそうでないかもしれない。地形と海況が関係して廃水の影響、ことに浮游物などがこれまで考えた廃水影響圏から離れた或る特定の所へ集積されて問題を生む事があるかもしれない。そのような懸念が残るのでこれを今後の問題として考へたいと思う。

次に廃水の影響圏と被害との関係であるが、実際の被害が影響圏内で起る時は説明も容易である。しかし若しこれまで述べた影響圏外で被害問題が起きているときこれを簡単に無関係なりと決める事は当を得た事とはいいたいがたい。水産業が被害を受ける原因には工場廃水は一つの要素にすぎず、其の他多くの自然的又人為的要因によって被害を受けている。そこで起った被害について、原因を明かにする事は工場廃水の嫌疑を解く途でもある。

又、漁業者にとっては被害の原因が明かになればそれが工場廃水でなくても差支えなく、それにより対策が講じられるわけであろう。被害問題が起れば近くの工場が問題にされるのであるが、被害問題については被害そのものの原因調査の方法が考えられねばならない。そこで自然的要因すなわち環境変化と生物との関係は明かにされていれば被害の原因を考えるのには役にたつ。又斃死魚による死因判定などという研究課題は極めて困難な問題であっても、無実の責任をつくらぬ為には研究者として

は早急に解決すべき問題ではなからうか。

第三に廃水処理について問題がある。廃水処理については種々の研究が積まれているが、実際には工場側で満足に行っていない場合がある。それは工場に廃水処理の意思があっても、負担にたえなかつたり、効果に疑問をもって躊躇していたりするからでもあろう。問題は工場がやれる方法を考える事、又やってみる効果のある方法を考える事である。廃水処理の対策には工場に設備をつくるだけでなく、効果があれば排水口の位置を変える事なども考えられる。要は実際に水産業に害を与えぬ事を考えればよいのであり、例えば pH の問題などでも河川においてはその嚴重な要求は必要であっても海では海水の緩衝力が強いためすぐ中和されて大した問題にはならぬといえるであろう。結局廃水問題では実際に工場が行って効果のある方法を見出すことが現実の問題だと考える。

〔5〕 結 語

浅海における工場廃水問題はまず廃水の影響圏を正確に捕える事である。その方法については、ここに述べて来た事であるが水域及び底質における影響範囲を知り、又生物相の状態を調査すればほぼその問題の中心点は明らかとならう。勿論それでは説明出来ぬ問題も起るであろうが、それは今後の問題だと思う。廃水問題において工場に改善すべき事があれば工場にそれを求めればよい。これには工場のとり得る具体的な内容が伴わないと工場としても処置出来ない。若し漁業者の要求に無理があればその点は理解させる必要がある。とにかく工場にも漁業者にも廃水の被害問題はいやな問題であるから少しでも無理のない解決に導くため、まず現実の工場廃水が示す状態を把握する事から出発して事実の認識の上に議論を進める事が近道だと考えている。

参 考 文 献

1. 亀山：産業廃水の問題，化学と工業 Vol. 6, No. 1, 1953.
2. 農林省水産局：水質保護に関する調査，1932.
3. 柴田：水質汚濁とその処理法，1954.
4. 新田：水の分散を支配する要素，内水研報告，第7号，1955.
5. 新田：廃水分散の計算方法について，内水研報告，

第3号，1953.

6. 新田：廃水分散の形態，内水研報告，第7号，1955.
7. 新田：瀬戸内海に於ける工場廃水の影響水域に関する検討，内水研報告，第10号，1957.
8. 新田，荒川，杉本，藤谷，伊賀原：人絹工場の廃水，内水研報告，第7号，1955.
9. 荒川，新田：海底泥の分析法に関する研究，内水研報告，第3号，1953.
10. 新田，荒川：泥質についての研究，内水研報告，第7号，1955.
11. 新田，荒川，杉本，藤谷：岸壁生物の調査，内水研報告，第3号，1953.
12. 新田，荒川，杉本，藤谷：パルプ工場廃水の研究，内水研報告，第3号，1953.
13. 新田，中井：貝，海藻，浮游生物の致死量について，内水研報告，第3号，1953.
14. 新田，藤谷：魚類の不好量に関する研究，内水研報告，第3号，1953.
15. 新田，藤谷：魚類の不好量に関する研究，第2報内水研報告，第6号，1954.
16. 新田：魚類の不好量に関する研究，第3報，内水研報告，第7号，1955.
17. 藤谷，新田：魚類の嫌忌量に関する研究，第2報内水研報告，第6号，1954.
18. 新田，藤谷，荒川，杉本：澱粉工場の廃水について，内水研報告，第6号，1954.
19. 新田，荒川，伊賀原：醱酵工場の廃水について，内水研報告，第7号，1955.
20. 未発表資料
21. 愛知県漁協：愛知県下における水質汚濁の現況，1951.
22. ELDREDGE (柴田訳)：工業廃水処理，1949.
23. 新田，荒川，杉本，藤谷：漁業が受けた被害の原因について，内水研報告，第6号，1954.
24. 五十嵐：水と泥，北水試月報(10.9.1953)，その他.
25. 新田，竹内：都市廃水の研究(I)，内水研報告，第6号，1954.