

河川および河口部における自浄作用について(第1報)

誌名	愛知県公害調査センター所報
巻/号	2
掲載ページ	p. 67-74
発行年月	1975年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



河川および河口部における自浄作用について(第1報)

ある製紙工場排水によるモデル実験および河川 (木曾川) 水質測定結果との関連について

荻田晴久 迫口孝文* 久米茂行 大沼淳一
荒川幸夫 森 益男

ある製紙工場排水について種々の条件下で水槽モデル実験を行なった。その結果BODの残存率は5~10%にすぎないが、COD、TOCは約50%が残存する。また河口部海水と順流部河川水の実験結果とは良く似ており、このことは感潮域海水においても順流部と同様の自浄能が期待できることを示している。

水槽実験結果と河川水質測定データとは良く一致していると考えられる。

1 まえがき

河川および海域の水質汚濁の機構や防止等に関する調査をする際、河川や海の持つ自浄作用についての知識が不可欠となる事はあらためて述べる必要はないであろう。特に昨今、河川への汚濁負荷量を濃度によってではなく総量によって各種排水を規制しようとする動きのなかで自浄作用の持つ意味は重要である。自浄作用の内容としては大別して次の三つに分けられる¹⁾。

- 1) 拡散 沈降 吸着等の物理的作用
- 2) 化学的反應による沈殿物の生成やガス化による大気への逸出
- 3) 主として有機汚濁物質等の分解無機化を行なう生物的作用

現実の河川では希釈、拡散、吸着、沈殿等の物理的作用は汚濁物質の濃度をみかけ上減少させるに、大きな効果があるが、汚濁物質の絶対量を減少させることにはならず、河床での吸着、沈殿は場合によってはむしろ底質の悪化をまねくことになり河川およびその生物相にとって致命的な打撃となるであろう。

現実の河川において実際に河川の自浄能力を求める方法として次の三つがあげられる。

- 1) 現実の河川へ人工汚濁物(しょ糖等)を投入してその汚濁物の減少率から自浄係数を算出する方法²⁾
- 2) 一定区間で流入、流出する汚濁負荷量を測定し(BODが最もよく使用されている)それを単純化した水質方程式

$$\partial L / \partial t = -KL$$

にあてはめて自浄係数K値を算出する³⁾⁴⁾。

- 3) 人工河川や室内実験で種々の条件下において汚濁負荷物の減少率を測定し自浄係数を推定する。

1)の方法を実際現実の各河川に実施する事は難かしい。

2)の方法は本県においても49年度に県下各河川において実施する予定であるが、流量の収支が一致しないことや水温の変化に対応して年数回測定する必要がある等の難点がある。3)のいわゆるモデル実験による自浄係数の推定値は現実の河川に適用する時に充分注意する必要があるが、水温等の条件をコントロール出来る点で自浄作用の基礎的研究を行なうには極めて有用である。

本研究ではモデル実験により、ある製紙工場排水の河川水中や河口部海水中での分解過程を研究し、有意の結果を得たので報告する。

2 実験方法

河川水のもつ自浄能による汚濁物質の絶対量の減少を知るため水槽実験を行なった。汚濁物質として現在最も問題となっている排水の一つである製紙工場排水について実験を行なった。実験水槽は約30ℓ容量のガラス水槽を使用し、条件として

1)屋外放置、2)20°C恒温暗室、3)20°C恒温で光照射について同一排水を同時実験した。使用した製紙排水の状態は採水時にBOD約200ppm、COD約300ppmであり、この排水を1)排水口より、1.5

* 名古屋保健衛生大学

km上流の河川水で20倍希釈した場合、2)同じく7倍希釈した場合、3)同上の排水を同一河川の河口部の海水で20倍希釈した場合について各々上記三つの条件下でpH, DO, 導電率, COD, BOD, TOCの各項目を24時間毎に測定し, BOD, COD, TOCの残存率がほぼ安定するまで継続した。分析方法は下記の通りである。

水 温: 棒状水銀温度計
最高最低温度計

p H: pH メーター (日立-堀場M5型) 及びBTB-PR比色法を併用

D O: 溶存酸素計 ((Beckman FILDLAB OXYGEN ANALYZER) 及びウィンクラー法を併用)

導電率: 東亜電波CM-2A型

C O D: 酸性過マンガン酸カリ30分法 (JIS K O102)

B O D: 20°C 5日間希釈法 (JIS KO102)

T O C: Beckman TOC-915型

3 実験結果

河川水によって20倍希釈した場合のBOD, CODの残存パーセントをFig. 1, 2に示す。

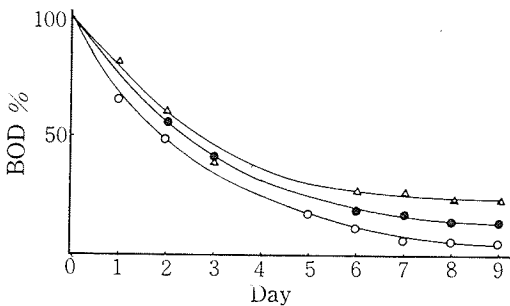


Fig 1 Variation of BOD in 20 times diluted solution by the river water

- 20°C light
- 20°C dark
- △ outdoor

BOD, COD共に各実験水構の条件による差異が認められた。BOD, COD共に浄化能力は

20°C 光 射 > 20°C 暗室 > 屋外自然放置の順であった。更にBODとCODの最終残存率に約50%の差があった。Fig. 3にTOCの残存パーセ

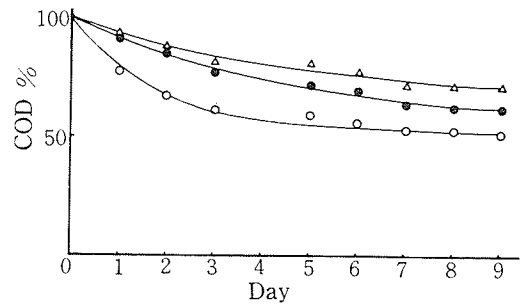


Fig 2 Variation of COD in 20 times diluted solution by the river water

- 20°C light
- 20°C dark
- △ outdoor

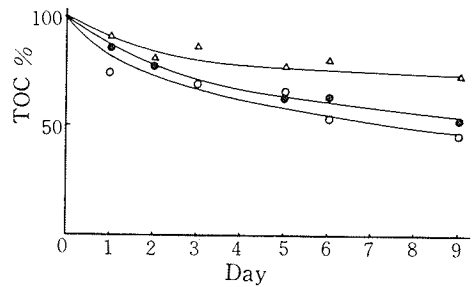


Fig 3 Variation of TOC in 20 times diluted solution by the river water

- 20°C light
- 20°C dark
- △ outdoor

ントを示すが, CODと同様最終残存率は50%以上を示している。

BODの減少が一次反応式 $B_t = B_0 \cdot 10^{-Kt}$ に従うものとしておのおのについて自浄係数 (K) を求めると次のようになった。

	K
20°C 光照射	0.17
20°C 暗室	0.12
屋外自然放置	0.11

このK値は庄内川においてある製紙排水について実測されたK値0.13とよく一致している⁹⁾。

河川水による7倍希釈の場合をFig. 4, 5に示す。

20倍希釈の場合と比較するとBODの残存パーセン

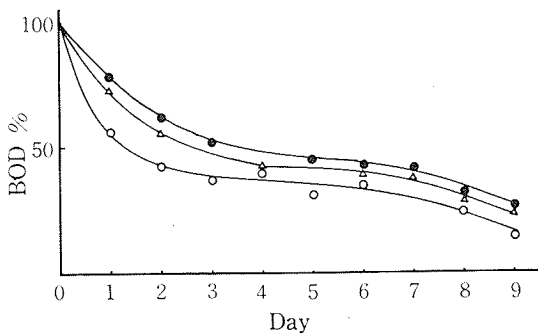


Fig 4 Variation of BOD in 7 times diluted solution by the river water

- 20°C light
- 20°C dark
- △ outdoor

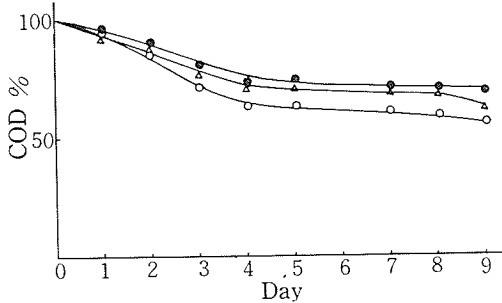


Fig 5 Variation of COD in 7 times diluted solution by the river water

- 20°C light
- 20°C dark
- △ outdoor

トが多くなっているが、なお減少しつつある傾向が認められる。

一般に日本の河川は短流であり、しかも汚濁源は中流域から下流域に多いため、河口部への流達時間は非常に短い。従って河川中での自浄作用によって汚濁負荷が大幅に減少することは期待できないであろう。このことは大部分の汚濁負荷物質が河口部に集積されることを意味するため、汚濁物質のヘドロ化、二次汚濁、海域への汚濁の拡がり等に関連し、河口部での汚濁物質の変化が重要な問題となる。この問題へのアプローチの仕方の一つとして同じ製紙排水をその排水口のある河川の河口部の海水（導電率約35900 μ v/cm）で20倍希釈をした場合についても実験を行った。その結果

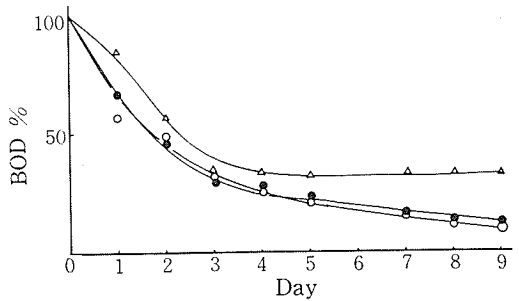


Fig 6 Variation of BOD in 20 times diluted solution by the estuary water

- 20°C light
- 20°C dark
- △ outdoor

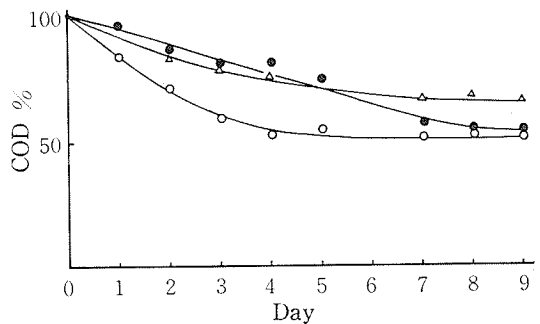


Fig 7 Variation of COD in 20 times diluted solution by sea water of the estuary

- 20°C light
- 20°C dark
- △ outdoor

をFig. 6, 7に示す。

Fig. 1とFig. 6を比較すると多少の差異は別として、大要は非常によく似ていることがわかった。

PH, 導電率, DOの実験中の経時変化をFig. 8に示す。

4 考察

4.1 BODについて

20倍希釈の場合（初濃度はBOD10.8ppm, COD 19.8ppmであり排水口から1.5km下流における水質と同程度）は、BODの減少速度は

20°C 光照射 > 20°C 暗室 > 屋外自然放置

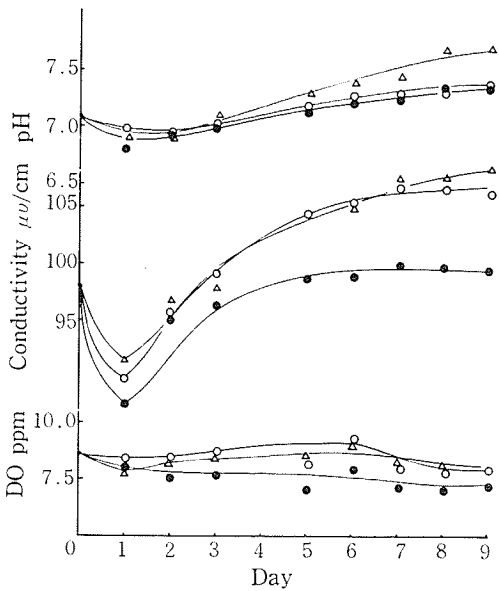


Fig 8 Variation of pH, DO and conductivity in 20 times diluted solution by the river water

- 20°C light
- 20°C dark
- △ outdoor

となった。この原因として、自然放置では冬期(11月下旬)に実験をしたため水温が20°Cよりかなり低く、そのためBOD残存率が大きくなったことが考えられる。光を照射した場合の方が暗室よりBOD減少率が大きいのは、これだけのデータから確言はできないが、有機成分の光化学的な分解がわずかではあるが生じているのではないかと思われる。この点については今後なお研究する必要がある。

7倍希釈の場合(初濃度はBOD 29.0ppm, COD 48.0ppm)には、自然放置の減少率の方が20°C暗室より大となっているが、この時は水温が9~29°Cで20倍希釈の時より高くなっているためであろう。7倍希釈の場合には20倍希釈の場合よりBOD残存率が約10%大きくなっているが、Fig. 4からわかるように9日後もなお減少しつつある傾向が認められている。

4.2 COD, TOCについて

光照射や水温等の実験条件の違いによる減少率の差はBODの場合と全く同じである。しかしなが

らBODの最終残存率が例えば、Fig. 1の20°C光照射による場合では5%であるのに対して、COD及びTOCは約50%であり大幅な違いを生じている。このBODとCODの残存率の違いは7倍河川水希釈や20倍河口部海水希釈の場合にも認められる。この事実は極めて重要であると考えられる。すなわちこれは河川水中及び河口部の海水において9日間で微生物により分解しうる有機物の量が排水中の約50%に過ぎないことを示している。残りの50%はいわゆる難分解有機物として残存していると思われる。このことについてはこの河川(木曾川)中には同排水中の有機物を分解しうる微生物種が少ないという解釈も成り立つが、河川の自浄作用をいう場合にはその河川中の微生物の種類や量は当然自浄作用の内容となって現われてくるであろう。

このようなBODとCODの分解率の差は大部分は排水中に含まれる固形有機物によるものと思われるが(次節参照)、これらの難分解有機物は河川または河口部で沈降し底質の悪化を招くと考えられ、更に河口部においては二次汚染の原因ともなるとと思われる。

4.3 河口部における自浄能について

河口部海水のBOD減少率と、上流の河川水による減少率とがよく似た傾向を示しているが、これはある意味では大きな救いである。日本の河川は一般に短流で、汚濁源も流域から下流域に多いため、汚濁負荷物が河川中で自浄作用を受ける時間が極めて短い。それゆえ負荷物の絶対量は大幅に減少することなく河口部に集積されると思われる。この河口部での自浄作用がそれより上流の河川中のそれと同じように働くならばその浄化能は大きなものとなるはずだからである。今回の実験結果ではいわゆる分解し易い溶解性有機物に対しては、これが期待できることを示している。

4.4 pH, DO 導電率について

Fig. 8に河川水20倍希釈の場合のpH, DO, 導電率の各条件下での測定結果を示した。DOは約90%前後で特に大きな変動はみられないが、光照射や自然放置のDO値が20°C暗室より高いのは、わずかではあるが光合成により酸素が生産されることをうかがわせる。

pHが最もBOD減少率の大きい時、すなわち分解速度の大きい時に極少値を示しているのは有機酸の生成によるのではないと思われる。

導電率がこの時期に極少値を示すのは、栄養塩類の菌体への取り込みのためと思われるがはっきりしない。

以上述べた結果は単純な水槽実験に基づいており、今後の問題としてはより適当なモデル河川を利用していくことや、このような水槽実験と現実の河川との関連性の問題、底質の有無による相違点または相似点の問題、生物相（特に微生物の種類や量）の問題、流量の及ぼす影響等について研究してゆかねばならないだろう。しかしながら水槽実験の有用性はある程度確かめられている（その限界点には十分注意する必要はあるが）ので、今後各種汚濁源に対して、現実の県下各河川の水質調査と併用しつつ実験していくつもりである。

上記実験結果と実際の本曾川の水質との関連について

同排水口の上流と下流で昭和46年度に当所で水質測定したデータを次節に記述する。

5 排水口の上流および下流の水質について

排水口から約1.5km下流のS地点と約5.0km、上流のK地点において一年間にわたり毎月1回1日、6時間おきに4回採水して行った水質調査の結果を、上記自浄作用の実験との関連から、BOD、COD、DO、導電率、SS等について述べる。

5.1 DOについて

Fig. 9に溶存酸素飽和パーセントの経月変化を示したがこれによると最低値90%、最高値109%と変動は少ないが月平均日射量の変化に対してやや相関がみられる。

また溶存酸素パーセントの日変化は夕方最大値に達し、夜に入ってから減少を始め翌朝再び増加する傾向が認められる。これらの現象から微生物の光合成による酸素生産と呼吸による酸素消費の変動がわずかであるが認められる。またS地点の溶存酸素パーセントがK地点より低いのは排水による影響（後述のFig.17を参照）であろう。

5.2 BOD、CODと導電率、SSの関係について

Fig.10、11に、両地点におけるBODと導電率の関係を、Fig.12、13にCODと導電率の関係を示す

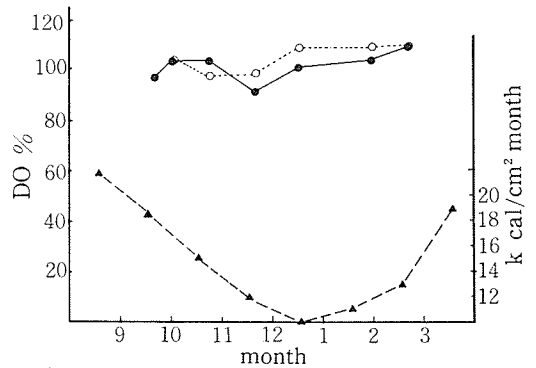


Fig.9 Relationship between dissolved oxygen and average solar radiation

- DO at K point
- DO at S point
- ▲ month average solar radiation

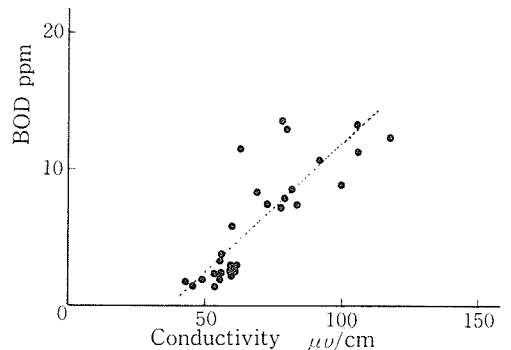


Fig. 10 Relationship between BOD and conductivity at S point

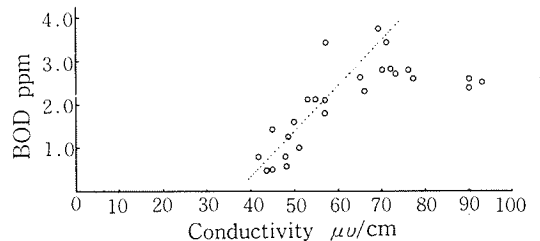


Fig.11 Relationship between BOD and conductivity at K point

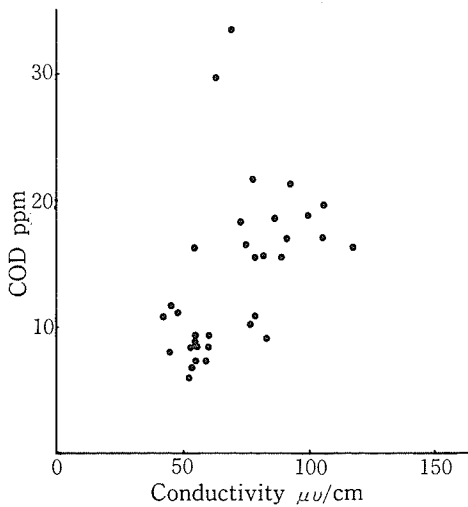


Fig.12 Relationship between COD and conductivity at S point

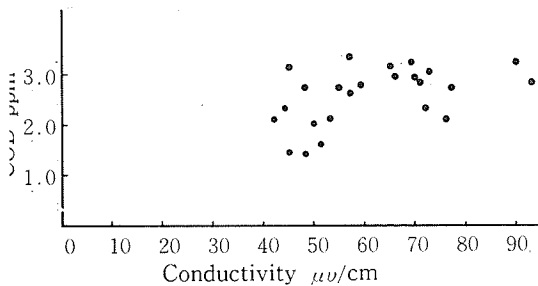


Fig.13 Relationship between COD and conductivity at K point

CODの基質とBODの基質がかなり異っていることはよく知られた事実であるが、Fig.10~13もその一端を示していると思われる。BODと導電率は両地点において相関関係がみられるが、CODと導電率にはっきりとした相関がみられないようである。

またS地点でBOD、CODとSSとの相関を調べると、この場合にはCODの方がBODよりSSとの相関性が大きいように思われる。(K地点ではSSの値が非常に低いため解析できなかった。)

これらの結果から次の事が導き出せる。第一には、両地点の溶解性物質には、BODの基質が多く含まれている。第二には、少なくともS地点におけるSSにはCODの基質となる有機物が多く含まれており、それはBODの基質とはなりにくいもの

である。

5.3 BODとCODについて

BODとCODの相関図 (Fig.14) からは、一定の傾向が見出しにくいですが、しいて求めてみるとS地点ではCOD/BODは2~3、K地点ではCOD/BODは1ぐらいとなる。

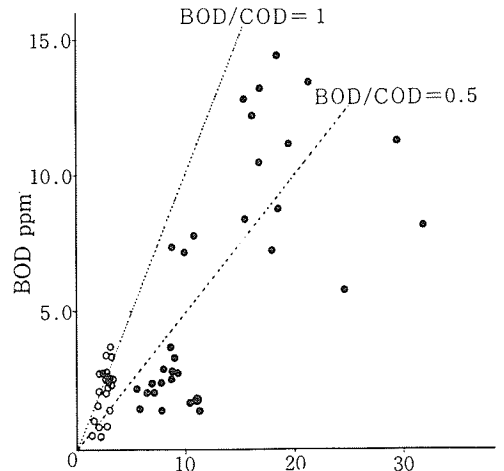


Fig.14 Relationship between BOD and COD

● S point
○ K point

Knöpp. H. (1968) によれば、COD/BODの値は亜硫酸蒸着液で3.38、家庭下水で0.4、都市下水で0.9などと報告されている。

BOD/COD比とBODの相関図を作ってみるとFig.15 のようになり、K地点とS地点の相違が明瞭となる。

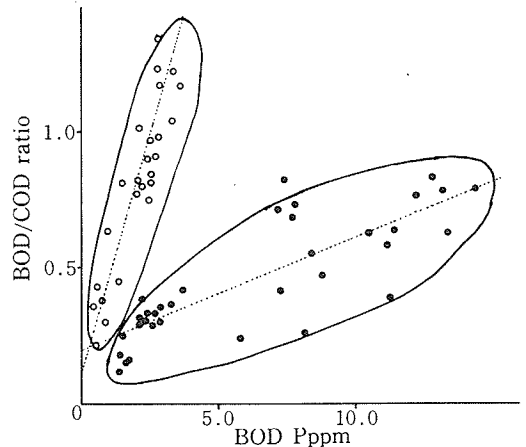


Fig.15 Relationship between BOD and BOD

/COD ratio
● S point
○ K point

この図は、BODの増加に伴ないCODも同じ比率で増すのではなく BOD/COD比がある割合で変化しつつ増加することを示しBOD/COD比の増加の割合がS地点とK地点とで異なっていることを示している。K地点では汚濁を受けるに従ってBOD/CODの比率は急激に1に近づくのに対してS地点ではその比率に大きな変化がない。つまりBODの増大に対してCODも同様に増大していることを示している、ただしBODは誤差の大きい項目であり同じ水質の水であっても常に同一の値を示さないことはよく知られている⁷⁾。そのためBODの誤差の幅がCODより大であるとするとFig.15の結果から上記の議論をすることは危険である。この点については今後詳細な検討を行う必要があると考える。

5.4 SSと透視度の関係について

Fig.16にS地点でのSSと透視度の関係を示す。

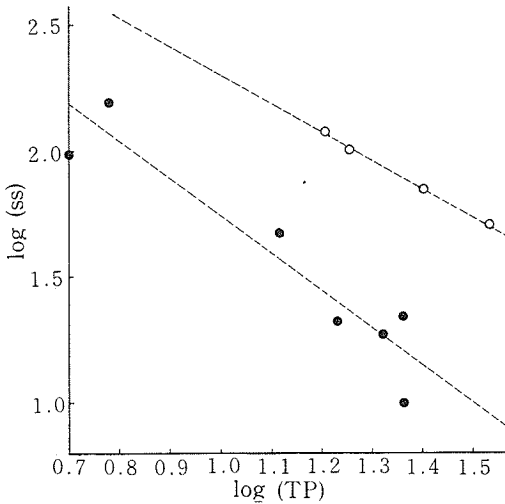


Fig.16 Relationship between SS and transparency

- S point
- Meiji-yosui (Yahagi River)

参考のため、矢作川底質(X線回析によれば大部分、石英、長石、カオリンから成る)による値をも示した。この結果は、次のように表わすことができる。小泉らの報告

$$SS = a \cdot (\text{透視度})^b$$

	a	b
S地点	160	0.68
矢作川底質	400	0.89

によれば、次のような結果が述べられている。この結果は

広葉樹パルプ	a = 104	b = 0.62
粘土(瓦用)	a = 753	b = 0.81
カオリン	a = 277	b = 0.87

S地点のSSが大部分パルプ排液カスであり、矢作川のSSが粘土質であることと良く一致する。

以上簡単に述べたS地点とK地点の水質に関する知見はS地点が製紙工場排水口から1.5Km下流であることを考慮すれば、前節で述べた水槽実験から得られたBOC, COD等についての結果とよく一致した。

Fig.17は木曾川で上に述べた内容に関連する区域の水質調査結果である。

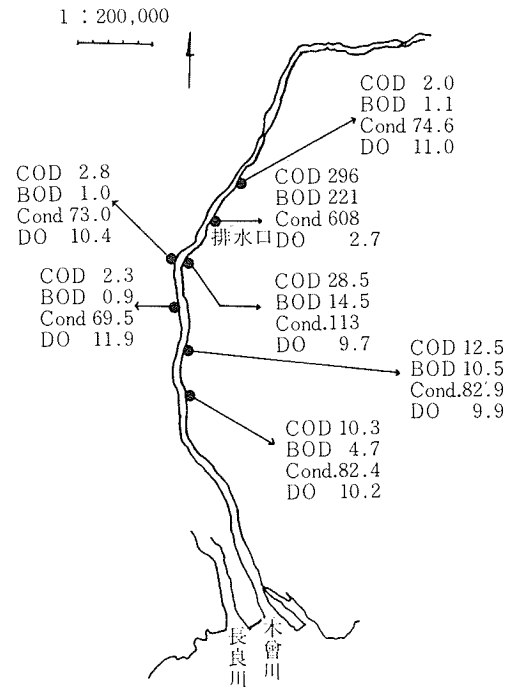


Fig.17 Water quality of Kiso river around the waste outlet (1973. 11. 6)

排水口下流にいくに従って、左岸においてはCOD, BOD, 導電率が減少するに従ってDO値は逆に増加している。また左岸では6km下流でもその水質に排水の影響が強く出ているのに対して、右岸ではその影響がみられない。あらゆる河川においても同様なことであるが、特に木曾川のように流量の大きい河川ではFig.17の如く汚濁負荷物質

の偏流が著しいであろう。このような場合に汚濁負荷総量を正確には握するには偏流及び拡散についての調査も行なわねばならず、かなりの困難が予想される。つまり流量の大きな河川で汚濁負荷量から自浄係数を算出するには、相当な労力（人員、分析検体数等）と日数を覚悟しなければならないであろう。この意味からも本研究のような調査方法が重要視されねばならないと考える。

6 まとめ

本調査によって次の事実が明らかとなった。

- 1) 木曾川で、ある製紙工場排水についてのモデル実験から得た BOD に関する自浄係数は庄内川で他の製紙工場排水について実測された自浄係数とよく一致した。
- 2) TOC, COD に関しては総負荷量の約 50% 以上が残存した。したがって BOD のみでなく、COD, TOC に関しても同様に自浄作用についての調査する必要があると思われる。
- 3) 有機性汚濁負荷物に関しては、河口部海水と河川中流水の自浄機能はよく似ており、同程度の自浄作用が期待できる。（ただし二次汚染の問題は残される）
- 4) 水槽モデル実験結果と木曾川の水質調査結果からの知見はよく一致していた。
以上は本研究の大要であり、詳細は今後とも検討して行かねばならないと考える。

文 献

- 1) 半谷高久, 安部喜也: “水質汚濁研究法” P 19 (1972), (丸善).
- 2) 半谷高久, 平山光衛, 本谷 勲, 大槻 晁, 沖野外輝夫, 富樫孝子: 資料科学研究所業績第 1146 号 (1967).
- 3) 土屋隆夫, 古井戸良雄, 長沢 久, 味村 昭: 東京都公害研究所年報 2, P 126 (1971).
- 4) 東京都公害研究所, 水質部: 公害研究所資料 2-1-12 (1972).
- 5) 清水正信, 伊藤和男: 全国公害研究所連絡協議会資料 (1974).
- 6) 津田松苗: 水処理技術, 2, No. 7, 1 (1971)
- 7) 萩原耕一, 平本和夫: 用水と廃水, 5, 141 (1963).
- 8) 小泉清明: 陸水学会誌, 30, 125 (1970).

☆

On study of self purification of a river and the estuary (1) a model experiment with incubators and it's relationship to the surveyed water quality, on a paper manufactory waste water.

Haruhisa OGITA, Takafumi SAKOGUCHI, Shigeyuki KUME, Jun-ichi ONUMA, Yukio ARAKAWA and Masuo MORI.

A model experiment with incubators was performed in various conditions for study on self purification of a river using the waste water from a paper manufactory. After 9 days, only 5-10 percent of BOD discharge remained but about 50 percent over of COD and TOC discharges. On BOD discharge, the self purification coefficient obtained by this work agreed with the actually surveyed value. However, the purification coefficient on COD or TOC discharge will be less than that on BOD. There was a so good similarity of the purification power between the river water and the sea water at the estuary that it may be expected for the discharges (especially for BOD) to be purified even at the estuary like through the river. There was also a good correlation between this study and analyzed data of water quality of the river about the waste outlet.