

## 長崎市内的における河川の汚濁状況調査-I

## 中島川における有機物と合成洗剤による汚濁の状況

保田正人・中原俊治\*・奥田 正\*・名切 徹\*・森永繁則\*  
釘田芳文\*・原 研治・槌本六良・石原 忠

Studies on Pollution of Rivers in Nagasaki City-I  
Status of Pollution Caused by Organic Substances  
and Synthetic Detergents in the Nakashima River

Masato YASUDA, Toshiharu NAKAHARA, Tadashi OKUDA, Tooru NAKIRI,  
Shigenori MORINAGA, Yoshifumi KUGITA, Kenji HARA,  
Mutsuyoshi TSUCHIMOTO, and Tadashi ISHIHARA.

BOD (Biochemical Oxygen Demand) and MBAS (Methylene Blue Active Substance) in the Nakashima River were measured for four years from April 1974 to March 1978, to determine the status of pollution caused by organic substances and synthetic detergents. The results obtained were as follows.

- 1) BOD showed a high value in 1974, while it decreased remarkably in 1975 and showed a gradual decrease thereafter. These yearly changes were statistically significant.
- 2) The yearly changes of MBAS concentration were not observed during the first three years, while a remarkable decrease was noticed in 1977, as compared with the other years. These facts indicated that the pollution in this river caused by synthetic detergents decreased yearly.
- 3) BOD and MBAS concentration showed the seasonal variations with the tendency of being low in summer and high in winter.
- 4) BOD and MBAS concentration showed a significant positive correlation in each year and the correlation coefficient showed the tendency to increase annually. Moreover, each of regression line at four different hours (8, 11, 14 and 17 o'clock) between BOD and MBAS concentration showed the tendency to correspond yearly. In view of these facts, it was considered that the source of main pollution in this river recently was domestic waste water.
- 5) Any significant correlation was hardly noted between BOD and the amount of flow in the river or the rain quantity. Moreover, the relation between MBAS concentration and the amount of flow or the rain quantity showed the same tendency as between BOD. According to these facts, it was considered that the seasonal variations of both BOD and MBAS concentration were caused by seasonal changes of waste water.

近年、市街地河川は生活排水、工場排水などに起因する汚濁によって種々の社会問題を引き起こしている。

そのため居住者の河川に対する水質保全への関心が高まり、行政的にも排水基準の強化、下水道の建設促進、

\*長崎市試験検査室 (長崎市桜町6番3号)

河川の清掃などによる汚濁低減の努力がなされている。

長崎市にあっては下水道の建設が遅れ、また住民も河川汚濁に対する関心が低い。さらに近年人口増加に伴い住宅街は山陵までせまっている。このような状況下にある中島川は市街地を貫流し、その上流に二つの水道用の貯水池をもち、流量は6 km程度で流量も少ない小河川である。そのため自然の浄化作用もあまり期待できず、さらに閉鎖的な長崎港湾に直接流入するため港湾水汚濁に対する影響もかなり大きいことが想像

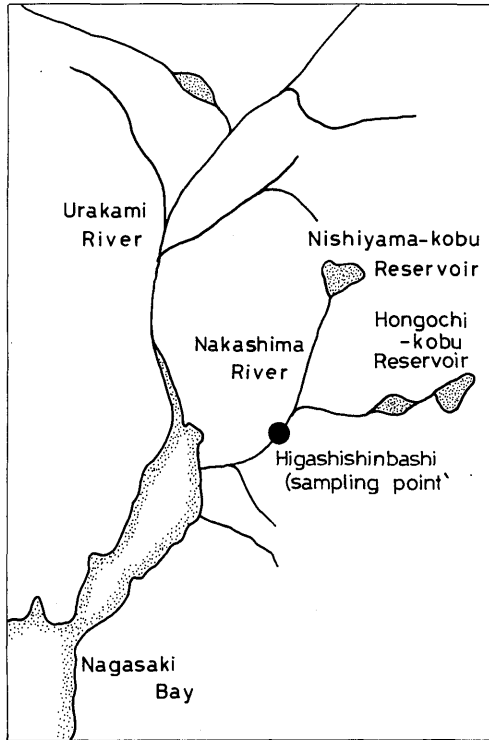


Fig. 1. The station of sample collection and its environments.

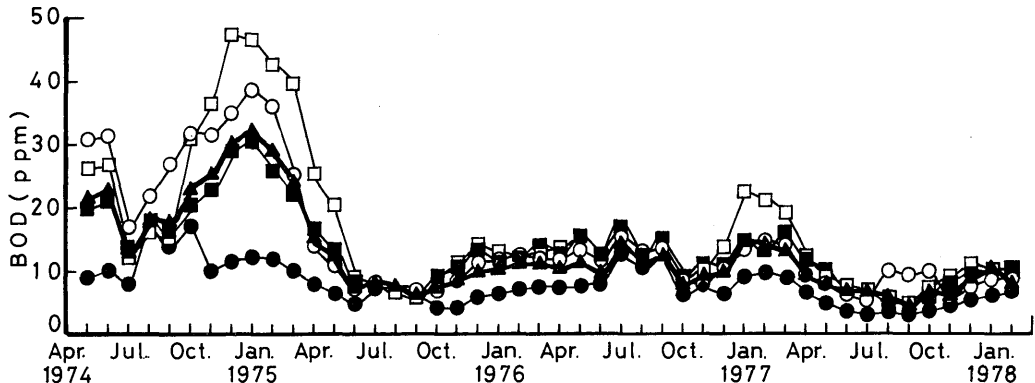


Fig. 2. Seasonal variation of BOD represented by three-month moving average.

Water was collected at 8.00 (●), 11.00 (○), 14.00 (■) and 17.00 (□) o'clock. Symbol (▲) indicated the daily mean value.

される。そこで中島川の汚濁状況につき経年的変化とその汚濁原因をさぐる目的で本研究を行なった。

## 実験方法

### 1. 採水地点

採水地点(東新橋)を Fig. 1 に示した。中島川には上流に二つの貯水池があり、採水地点は各池より流下する合流点の下手400mで、長崎港の潮位による流量の変化や海水の逆流などは認められなかった。なお、合流点より下流域は市の中心街で商店や食堂などが密集している。また、合流点より両池を経てさらに上流域は主に住宅街である。

### 2. 採水方法

1974年4月から1978年3月までの4年間、毎月雨天をさけて任意の1日について、8、11、14、17時の4回採水した。また、これと並行して毎年5、11月の任意の1日に2時間おきに採水した。採水は底泥などの混入がないよう表層水を採水した。

### 3. 調査測定項目および測定方法

測定項目は生物化学酸素要求量(Biochemical Oxygen Demand, BOD)とメチレンブルー活性物質(Methylene Blue Active Substance, MBAS)および流量とし、BODは工場排水試験方法 JIS K0102の方法(1)、MBASはメチレンブルー法(2)により、流量は14時採水時に流速法(3)により測定した。

## 実験結果

### 1. 生物化学的酸素要求量(BOD)

中島川における有機物汚濁状況をみるため、BOD値について検討を行なった。

1-1. BOD 値の逐月推移と季節変動

毎月任意の1日の4時刻についてBOD値を測定し、その平均値および各時刻値ごとの推移を3か月移動平均値でみると Fig. 2 のようになる。1974年度では6~8月(夏季)に低く、9~11月(秋季)より上昇し、12~2月(冬季)に高い値を示している。翌年以降は値が顕著に低くなり、したがって月間変動が小さくなっているが、季節的変動傾向は変わっていない。8時を除く値は夏季に低く、冬季に高くなる傾向がある。しかし、8時の値には顕著な変化はみられない。各時刻値間の差は夏季に小さく、冬季に大きい傾向がうかがわれ、1974年度では夏季以外の季節で11、17時の値が高く、8時の値は最も低く、14時の値はその中位にある。1975年度以後の8時の値は年間を通して低く、他の3時刻値は近似したレベルを示すが、その差は1974年度に比べて顕著に小さい。

1-2. BOD 値の逐年変化

先の結果より BOD 値は1974年度に高かったが、1975年度に急激な低下を認めたことより逐年変化について統計的検討を行なった。

会計年度に合わせて4月に始まり翌年3月までの年間平均値を算出した。その結果、1974年度以降4年間の年度別平均値は、それぞれ $23.4 \pm 14.5$ ,  $9.4 \pm 6.0$ ,  $12.0 \pm 6.0$ ,  $7.1 \pm 3.5$ ppmであり、1974年度のみ有意に ( $P < 0.001$ ) 高く、また1977年度が1976年度に比べて有意に ( $P < 0.01$ ) 低かった。最高値は逐年的に低下傾向を示したが、最低値にはあまり変化がみられなかった。したがって標準偏差値は逐年的に低下の傾向が認められた。

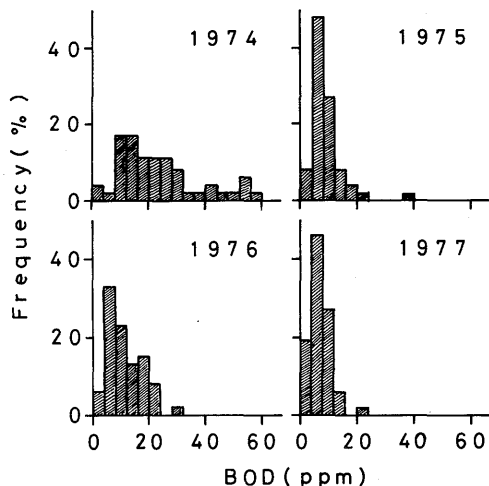


Fig. 3. Relative frequency of BOD grade in each year.

そこで、これらの BOD 値を各年度別に度数分布でみると Fig. 3 に示すごとくである。どの年度も正規分

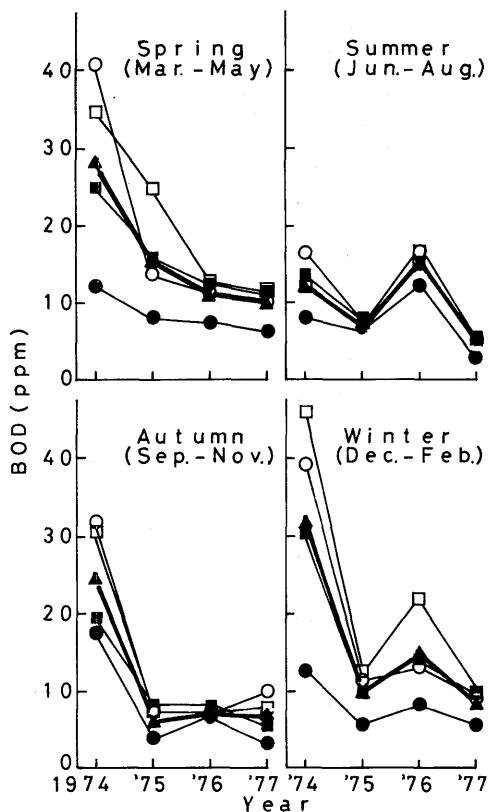


Fig. 4. Yearly changes of BOD in each season. Symbols are the same as those in Fig. 2.

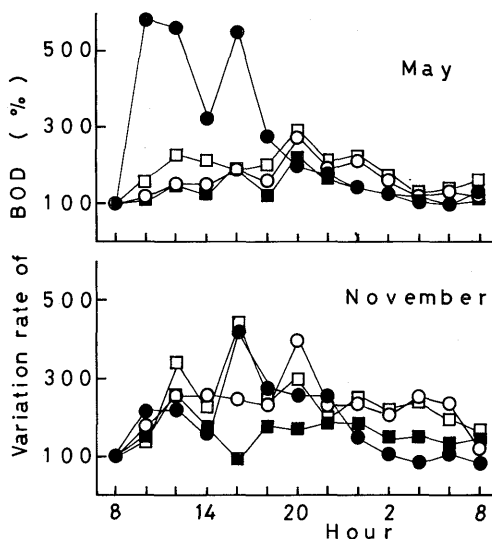


Fig. 5. Diurnal changes of BOD. ●, 1974; ○, 1975; ■, 1976; □, 1977.

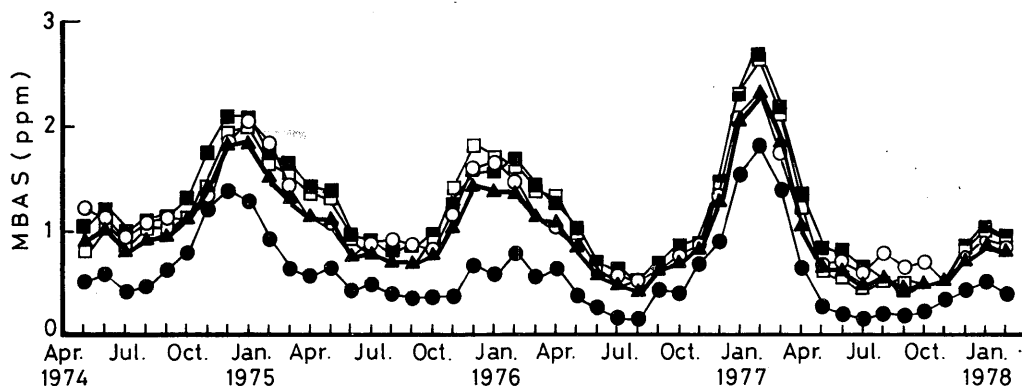


Fig. 6. Seasonal variation of MBAS represented by three-month moving average. Symbols are the same as those in Fig. 2.

布形をとらず対数分布に近い形を呈している。1974年度は高値の出現頻度が多く、バラツキも大きい。しかし、翌年以降では逐年的に高値の出現頻度が減少している。これは先に示した時刻別逐月推移 (Fig. 2) に認められた11, 14, 17時とそれらの差が逐年的に著しく減少したことに対応している。

次に、逐年推移を季節別に比較し Fig. 4 に示した。春季では平均値は1974年度に高く、1975年度に著減し、以後逐年的に低下している。この低下傾向は4時刻とも同じであるが、11, 17時が大きく、8時は小さく、14時はその中位にある。夏季では顕著な逐年的低下傾向は認められない。秋季、冬季では1974年度が著明に高く、1975年度は急激に下降したが、1976年度以後は若干上昇するか、あるいは変化しない傾向が認められる。また時刻別の逐年的低下傾向の違いは秋季には顕著にみられないが、冬季には春季と同様の傾向が認められる。

以上の結果より中島川の BOD 値は1974年度をピークとして以後、年とともに低下し、有機物汚濁が漸減してかなり清浄化される傾向にあると言える。

### 1-3. BOD 値の日内経時変化

先に4時刻の BOD 値に差を認めた (Fig. 2, Fig. 4) ことより BOD 値の日内経時変化を調べた。測定は各年度の5, 11月の任意の1日について行ない、結果を8時値を100%とする変動率で Fig. 5 に示した。5月では、1974年度では午前中に急上昇し、14時に低下し、16時には再度上昇し、夕刻以降は漸次低下する1日二峰性の変化を示している。これに対し、1975年度以後は20時付近をピークとした変化であり弱い1日一峰性の経時変化傾向を呈している。次に、11月ではいずれの年度も8時に低く日中に上昇し、以後漸次低下する1日一峰性あるいは弱い二峰性の傾向を呈している。

年度別比較では特に顕著な差は認められない。

## 2. メチレンブルー活性物質 (MBAS)

有機物汚濁 (BOD) のうちメチレンブルー活性物質 (MBAS)、いわゆる合成洗剤系による河川の汚濁状況について検討を行なった。

### 2-1. MBAS 値の逐月推移と季節変動

各時刻ごとの MBAS 値およびその平均値を3か月移動平均値でみると Fig. 6 のようになる。各時刻値および平均値はいずれの年度とも夏季に低く、秋季に上昇し、冬季に最高値を示し、春季に低下する年間一峰性の変化を呈し、さらにその年間変動幅も近似している。しかし、1977年度は冬季のレベルが他の年度の冬季の値に比べて著しく低い。また各時刻値間の差をみると、8時のみは他の時刻に比べ明らかに低い。この傾向は先の BOD 値の結果と同様である。

以上の結果より中島川の MBAS 値の逐月推移は年

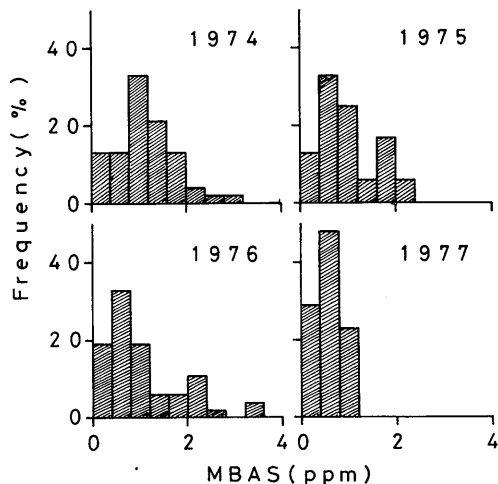


Fig. 7. Relative frequency of MBAS concentration in each year.

間一峰性の変化を呈し、逐年推移していると言えよう。

2-2. MBAS 値の逐年変化

MBAS 値においても先の BOD 値と同様に逐年変化について統計的検討を行なった。1974年度以降4年間の年度別平均値は、それぞれ1.19±0.60, 1.05±0.58, 1.09±0.84, 0.60±0.28ppmであり、1974年度から1976年度間には統計的に有意な差は認められなかったが、最終の1977年度はどの年度と比較しても有意に (P<0.001)低かった。最高値および最低値においても初めの3年間には大きな差はみられなかったが、1977年度は他の年度より低かった。また標準偏差値は1977年度が顕著に小さかった。

そこで、各年度の MBAS 値を度数分布でみると Fig. 7のごとくである。どの年度も BOD 値の結果と同様、対数分布に近い形を呈しているが、年度別では BOD 値でみられたような高値の出現頻度が逐年的に減少する傾向はうかがわれぬ。ただ、1977年度は高濃度レベルの出現頻度が消滅して低濃度レベルに集中していることが特徴的である。

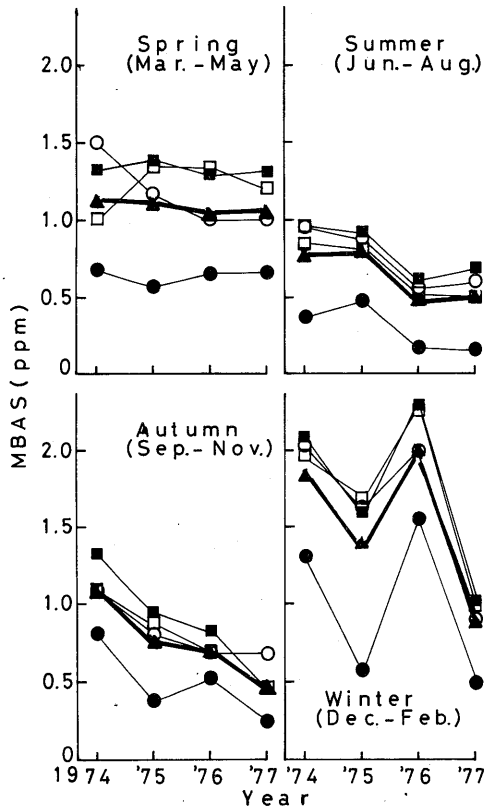


Fig. 8. Yearly changes of MBAS concentration in each season. Symbols are the same as those in Fig. 2.

次に逐年推移を季節別に比較し Fig. 8に示した。春季は平均値および4時刻値ともほとんど年度変化が認められない。夏季と秋季は平均値および4時刻値とも逐年的に低下している。冬季は平均値および4時刻値とも1974年度と1976年度が高い値であるが、総じて逐年的に低下傾向を呈している。また各時刻値のレベルをみると、どの年度のどの季節も8時値が最も低く、他の3時刻値は近似した値で逐年推移している。

2-3. MBAS 値の日内経時変化

BOD の場合と同様にして得た結果を変動率で Fig. 9に示した。5月では各年度とも午前中に上昇し、14~16時にかけて一次低下し、20, 22時に向けて再上昇し、再び深夜に低下し、前日8時とほぼ同レベルに戻るといふ一日二峰性に近い変化を呈している。この傾向は BOD 値のそれに類似している。日内変動幅は1977年度が若干大きい、1974年度の BOD 値のような大きい日内経時変化はみられない。次に11月では各

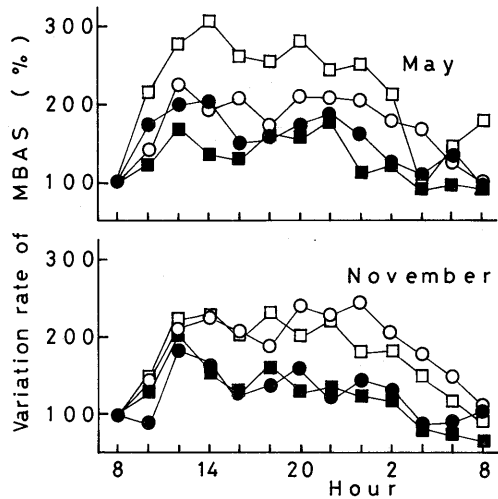


Fig. 9. Diurnal changes of MBAS concentration. Symbols are the same as those in Fig. 5.

Table 1. Correlation between BOD and MBAS concentration.

Hour	Correlation coefficient				Total
	1974	1975	1976	1977	
8 : 00	0.015(12)	0.545(12)	0.103(12)	0.710(12)**	0.274(48)
11 : 00	0.650(12)*	0.798(12)**	0.342(12)	0.826(12)***	0.550(48)***
14 : 00	0.862(12)***	0.903(12)***	0.255(12)	0.748(12)**	0.581(48)***
17 : 00	0.702(12)*	0.709(12)**	0.667(12)*	0.614(12)*	0.550(48)***
Total	0.627(48)***	0.753(48)***	0.426(48)**	0.777(48)***	0.545(192)***

( ), Number of sample; Significance level: \*, p<0.05; \*\*, p<0.01; \*\*\*, p<0.001.

年度とも5月のそれと同様に1日二峰性の傾向が認められる。

以上、MBAS 値の結果を総括すると合成洗剤系による汚濁は夏低、冬高の年間一峰性の変化を呈し、逐年的に若干汚濁が減少していると言えよう。しかし、BOD 値の逐年的汚濁減少傾向に比べると MBAS 値のそれはきわめてゆるやかである。このことより BOD 値と MBAS 値に及ぼす汚濁負荷源の経年的変化の違いがうかがわれる。

### 3. BOD 値と MBAS 値との相関

これまで BOD 値および MBAS 値による汚濁状況について個別に述べてきたが、さらに両値間の相関関

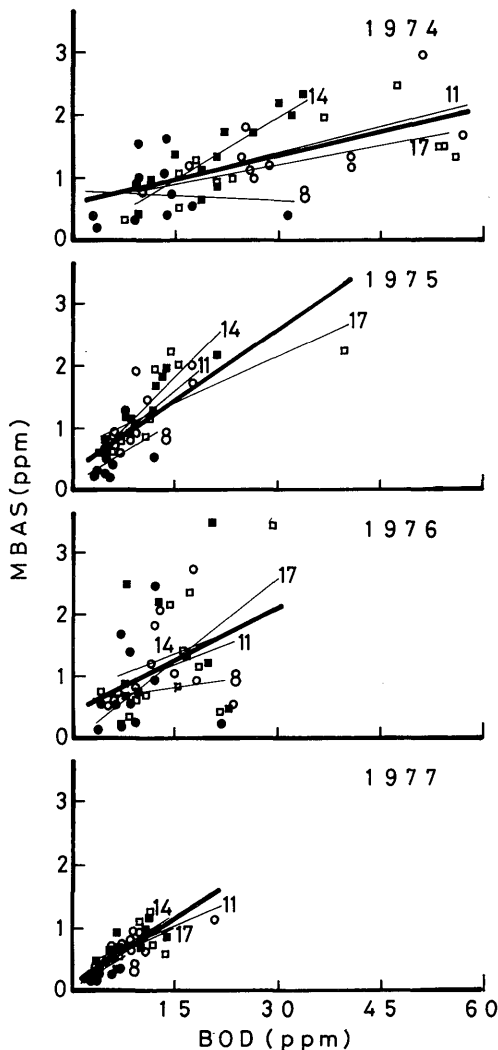


Fig. 10. Relation between BOD and MBAS concentration in each year. Linear lines showed the regression line. —, Total; —, Each hour.

係について検討を行なった。

まず Table 1 に示すごとく全測定値の年度別相関係数をみると各年度とも有意な高い正の相関性を呈している。このことは生活排水を汚濁源とする典型的な都市排水型の汚濁であることを示していると言えよう。しかも年度変化でみると1976年度を除いてその相関係数は逐年的に高まり、BOD 値と MBAS 値による汚濁の対応性は逐年的に高まっていると考えられる。

次に、時刻別にみると1976年度を除いて11, 14, 17時に、さらに1977年度は8時においても有意な正の相関性が認められる。また時刻別に相関係数の逐年変化をみると8時(1976年度を除く)と11時は経年ごとに相関係数が高くなり、有意水準も上昇している。しかし、14, 17時はむしろ逐年的に相関係数の低下がみられる。

一方、両値間の相関性を各年度別に散布図と回帰直線でみると Fig. 10 に示すごとくである。1974年度は各時刻の回帰直線に全く統一性がみられない。しかし、逐年ごとにそれらの回帰直線が一致してくる傾向がうかがわれ、1977年度には各時刻の回帰直線がきわめてよく一致している。

以上の結果より逐年的にも BOD 値と MBAS 値の対応性は高まっていると言えよう。

### 4. 河川流量および降水量がその河川の BOD 値および MBAS 値に及ぼす影響

中島川の BOD 値と MBAS 値はともに夏低、冬高の季節変動をしながら両値間に高い正相関性が認められた。これには季節による降水量やそれに伴う上流にある二つの貯水池からの溢水量とに起因して、両値に季節変動を生じさせ、さらにこのことが両値間に正相関性を呈示させたとも充分に考えられる。そこで、これらの点について検討を行なった。

Table 2. Correlation between the amount of flow in the river and BOD or MBAS concentration.

Year	Correlation coefficient			
	B O D		M B A S	
	14:00	Mean	14:00	Mean
1974(12)	-0.695*	-0.728**	-0.831***	-0.760**
1975(12)	-0.018	-0.025	0.073	-0.008
1976(12)	-0.094	-0.167	-0.410	-0.469
1977(12)	0.145	0.094	0.338	0.176
Total (48)	0.116	0.094	-0.149	-0.159

Symbols are the same as those in Table 1.

Table 3. Correlation between the rain quantity and BOD or MBAS concentration.

Year	Correlation coefficient	
	BOD	MBAS
1974(12)	-0.488	-0.547
1975(12)	0.665*	0.281
1976(12)	0.119	-0.492
1977(12)	-0.059	0.058
Total(48)	0.155	-0.098

Symbols are the same as those in Table 1.

4-1. 河川流量とBOD値およびMBAS値との関係  
採水時刻14時に測定した河川流量と BOD 値および MBAS 値との関係について統計的検討を行なった。その結果を Table 2 に示す。

BOD 値と流量間には1974年度では4時刻平均値ならびに流量測定14時値とも負相関性を認められたが、1975年度以後および全年度合併では相関性は全く認められない。MBAS 値においても同様の傾向がみられる。

このことより雨水や貯水池の溢水量等汚濁物質の少ない水の流入が BOD 値や MBAS 値の低下に影響を与えていないと断定することは危険であるが、1974年度を除くとその傾向は少なく、BOD や MBAS 両値の季節変動や両値間の正相関性はむしろ河川に流入する排水経路、特に生活排水に起因しているところが大きいと考えるのが妥当であろう。

4-2. 降水量と BOD 値および MBAS 値との関係  
降水量は実測していないため長崎海洋気象台の資料による採水当日を含めた前3日間の平均降水量を用いた。降水量と BOD 値および MBAS 値との関係を Table 3 に示す。

1974年度では BOD, MBAS 両値とも統計的に有意ではないが、降水量に対して負の相関傾向が認められる。このことは先の河川流量の変化の結果と同様である。しかし1975年度では BOD 値は逆に有意な正の相関性が、MBAS 値にも有意ではないが正の相関性が認められる。また、それ以後の年度および全年度合併では BOD 値が正の相関傾向のとき、MBAS 値は負の相関と、降水量の変化に BOD と MBAS 両値の統一した相関傾向が認められない。言いかえれば、1974年度を除き1975年度および全年度合併ではこの河川の BOD や MBAS による汚濁変化の主因は降水量の多少よりもむしろ排水等による汚濁量の変化に起因したものと考えられよう。

## 考 察

筆者らは長崎市中島川の汚濁状況を把握するため、1974年度から1977年度の4年間にわたって河川の一地点における有機物汚濁の指標としての BOD と合成洗剤系汚濁 MBAS 両値の測定を行なった。両値は経時的には日中から夜にかけて高く、夜半すぎから早朝にかけて低下する一峰性または弱い二峰性の日内変化を、また季節的には夏季に低く、冬季に高い明確な季節変動を、さらに経年的には汚濁が低減している結果を得た。

このうち BOD 値の経年変化は1974年度から急激に低下し、以後ゆるやかな減少を示した。中島川の BOD の経年変化に関して、相沢ら(4)は本報とほぼ同一地点で1960年から4年間にわたり継続調査し、BOD の年間平均値で24.0~32.2ppmの範囲の緩徐な増加傾向を報告している。この汚濁が進行する原因について相沢らは調査地点付近に食品工場や市場があり、これらからの排水の流入によることを指摘し、さらに採水地点の上流に市街地が拡張し住宅が増加したためと考察している。しかし、筆者らの1974年度以降の調査ではこの傾向とは逆に経年的に汚濁は低減する傾向を観察した。これは、1974年頃を境にして排水基準の強化や下水道の整備など行政的な汚濁低減の努力がなされたことや、合流点付近に点在していた食品工場や水産加工工場の移転などによるため、汚濁の原因が生活家庭排水に変遷してきたことによるものと考えられる。

一方、MBAS 値の経年変化は1974年度より3年間はそれほど大きな変化はなく緩徐な減少傾向を示し、1977年度になって有意に低下した。この点に関して、各家庭などで使用している合成洗剤系の量的、質的な変化や下水道設置に伴う汚水の河川流入量の変化などが考えられる。しかし、量的には1977年度を境にして急激に変遷するほど生活様式に変化があったとは考えられない。また質的には合成洗剤はその種類により生物学的分解が異なり(5)、一般に Hard 系の ABS は分解が悪く、Soft 系の LAS は分解がよいと言われ、近年では分解性の高い合成洗剤の改善がさげばれており、この数年来合成洗剤が分解性の高い LAS に徐々に切り換えられている。しかし、1977年度を境に急激な質的变化があったとも考えられない。かくして筆者らは MBAS 値が1977年度に有意に低下したのは合成洗剤の量的、質的变化もあるが、河川への流入排水量自体が低減したことによるものと考えられる。

次に、BOD, MBAS 両値とも夏低, 冬高の年間一峰性の季節変動が認められた。河川における BOD, MBAS 両値の季節変動に関して夏低, 冬高の年間一峰性を報告しているものには、本報河川で相沢ら(4)や、神奈川県の数河川で野間(6)、その他西村(7)や松本ら(8)など多くの報告がある。先の相沢ら(4)は本報と同一河川について汚濁源である家庭下水および排水量の季節変化は僅少であったことより、この季節変動は河川流量すなわち降水量によったと考察した。また半谷ら(9)は水質の季節変動について BOD を例にあげ、流量、水温や日射といった直接的な気象因子、この気象因子によって誘発される生物系の多寡や生物相の差異、さらに汚濁成分によっては工場の操業状態による季節変動や都市下水の質的、量的な季節変化などが考えられると述べている。本報の季節変動について検討した結果、流量や降水量の変化と BOD 値や MBAS 値との間には1974年度のみ統計的に有意な負の相関性が認められた。このことは、各年度毎の降水量の逐月推移を示さなかったが、1974年度は他の年度に比べて年間の降雨量も多く、とくに夏季の降水量が多かったことが原因していると考えられる。さらにこの年度の BOD 値は年間平均値23.4ppmであり、先の相沢らの報告と同レベルにあることより工場排水等の影響もあったとも考えられる。しかし、それ以後の3年間(年間平均 BOD 値7.1~12.0ppm)および全年度合併においては流量や降水量の変化とは有意な相関性を認めるに至らず、これをもって季節変動を十分に説明することはできない。また、工場操業状態による季節変化の影響については合流点付近の食品工場などの多くが移転しており、その影響は少なく、主原因となりえないであろう。しかれば、流入下水の量的、質的变化による影響、または気象的因子による自浄作用の影響が考えられる。気象因子に関しては、気象庁の資料によると測定年度の4年間には年較差および各月平均気

温にほとんど差がなかった。しかし、BOD, MBAS 両値の季節変動幅は1977年度が他年度に比べ顕著に小さく、さらに年間平均値においても前年度に比べ有意に低下していた。これらのことを考え合わせると本報に認めた季節変動は自浄作用による影響よりむしろ河川への流入排水の汚濁の量的、質的な影響によるところが大であると考えられよう。

一方、BOD, MBAS 両値間の相関には全年度で有意な正の相関が認められた。かつその相関係数は経年的に高まり、また各時刻における回帰直線は経年的に一致する傾向がみられた。これらのことより、本河川は都市型であり、しかも経年的に BOD と MBAS の汚濁源が同一汚濁源に移行していると考えられる。言えれば、本河川の汚濁原因は生活家庭排水に変遷してきており、その特性が本報河川の汚濁の変動の主原因と考えられる。

#### 文 献

- (1) 日本規格協会 (1974). JIS K0102-1974, 33-36.
- (2) 日本分析化学会関東支部 (1972). 公害分析指針, 水土壤編 2-C, 共立出版, 東京, 70-75.
- (3) 半谷高久・安部喜也(1972). 水質汚濁研究法, 丸善, 東京, 22-23.
- (4) 相沢竜・山口道雄・野見山季治(1965). 水処理技術, 6(11), 7-22.
- (5) 高橋俊三・広瀬真久 (1966). 水処理技術, 7(5), 17-24.
- (6) 野間紀之 (1977). 用水と廃水, 19, 1505-1524.
- (7) 西村秀作 (1973). 用水と廃水, 15, 1202-1232.
- (8) 松本順一郎・市川新・大沼正郎・中村玄正 (1973). 下水道協会誌, 10(1), 2-13.
- (9) 半谷高久・安部喜也 (1969). 水処理技術, 10(1), 33-40.