

河川感潮部の水質情報の標準化

九州大学工学部	正員	○楠田 哲也
〃	正員	二渡 了
〃	正員	栗谷 陽一
佐賀大学理工学部	正員	古賀 憲一
長崎大学工学部	正員	古本 勝弘

1. 緒 言

快適な生活環境を維持するために、河川の水質環境基準（生活項目）として、pH, BOD, SS, DO, 大腸菌群数の各項目について類型別に数値が定められている。この水質環境基準を達成するために、かなりの努力が払われ、河川水質が改善されてきつつあることは周知の通りである。河川における水質観測は、標準的には、月1回行なわれ、時に2時間毎に1日連続という形のものが行なわれている。月1回の観測の場合に採水深は表層から2割、流心で採水するというように定められているようであるが、採水時刻については、陽に指示されていることは少ない。河川感潮部は潮汐の影響を受け、流向が逆転するし、しかも、掃流力が時間に関して周期的に変動する。このような河川感潮部においても法的には河川として定められているので、河川における水質の計測法がそのまま準用されているのが現状である。したがって、河川感潮部における水質変化傾向を議論しようとして、各地の行政機関によって得られている情報をそのまま利用すると、時間的水質変動の方が長期的傾向の変化によるものより大きく、水質管理上有意義な情報を与えてくれないことがしばしばである。近い将来に向けて期待されているきめの細かい環境管理を行なうためには、河川感潮部にも十分な配慮が必要であることは論をまたない。したがって、河川とは異なった外部条件によって支配されている河川感潮部を、論理的に正しい見地に立った考え方に基づいて、水質情報を得、環境管理に役立てていけるようにするためには、採水法等に関する標準化がなされなければならない。本論文では、有明海に注ぐ強混合河川の一つである六角川を例にとり、既存のデータ、及び連続観測により得られたデータをもとに、水質変動特性を明らかにし、水質情報の標準化について検討を加える。

2. 対象河川

河川感潮部における水理学的特性は、塩水楔に関する研究の成果として、ほぼ解明されている。海水と河川水との混合状態は、一潮時における海水の河川への流入量とその間の河川固有流量の比、及び対象地点の一潮時平均としての表層部と底部における塩分濃度の比の関数として図示されている¹⁾。一般的には、河川感潮部の混合状態は、弱混合、緩混合、強混合の3種に大別されるが、同一河川でも、潮位差により混合状態が変化する。本研究の対象とした六角川は常時強混合を示す河川である。六角川は、佐賀県と長崎県の県境に近い神六山に端を発し、途中、庭木川、高瀬川、大山路川、焼山川、玉江川、武雄川等を合せて、白石平野を屈曲して貫流し、河口付近において牛津川を合せて有明海に注いでおり、地形年代的には老年期の河川である。河川断面形状は、台形状である。Fig. 1に示すように、河口から30km近くにある潮見橋地点における流量は、平水量で0.5 l/s、低水量で0.3 l/s、渇水量で0.1 l/s程度となっている。有明海の潮位差は5mにも及ぶので、感潮区間は大日堰までの約29kmとなっている。河口から24.2kmのところにある新橋地点では、河川の自流を観察できる時間帯がある。本川における水質環境基準は、大日堰（29km）より上流でA（環境基準点は潮見橋）、大日堰より河口堰（5km）までD（環境基準点は六角橋）、河口堰より下流でE（環境基準点は住之江橋）となっている。流域面積は約270 km²、人口は昭和55年10月現在で91,600人、人口密度は340人/km²であり、この10年間ほとんど変化は見られない。流域におけるBOD排出負荷の大きい事業場は13km地点で23 kg BOD/d、22km地点で30 kg BOD/d、24km地点で11 kg BOD/dがある程度で、他には存在しない。市街地からの排出負荷は、流域別下水道整備総合計画調査指針に従って流出率をとる

Table 1 WATER QUALITY AT
ROKKAKUBASHI IN 1982

	BOD	COD	SS	DO
Ave.	5.9	41.8	1457	5.0
S.D.	4.5	39.1	1680	2.1
Max.	16.3	105.0	6050	8.7
Min.	2.3	5.8	53	2.7

unit (mg/l)

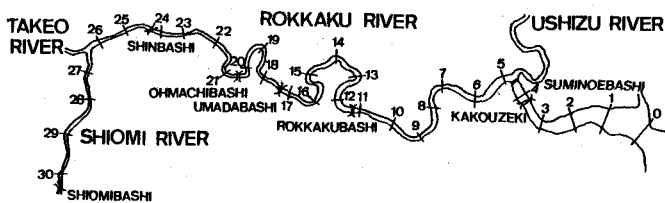


Fig.1 LOCATION OF OBSERVATION STATIONS

と、武雄市から 790 Kg BOD/b, 北方町から 225 Kg BOD/d, 大町町から 170 Kg BOD/d となる。

3. 既存資料による六角川の水質特性

六角川は、筑後川とともに有明海の影響を大きく受けている。有明海北部は、土質工学においては有明粘土と呼ばれる、粘土分がほぼ30%, シルト分が残りの部分を占める粘土ではほとんど覆われている。このため、六角川本川の感潮区間の底面には、この粘土を主成分とする底泥が存在し、潮汐に応じて懸濁したり沈積したりしている。懸濁物質は、河床近くでは 30 g/l に及ぶことがある。六角川本川における水質基準点は、住之江橋 (3.8 Km 地点)、六角橋 (11.2 Km 地点)、潮見橋 (30.7 Km 地点) の3地点であり、他に一般地点として新橋 (24.2 Km 地点) がある。これら4地点のうち、潮見橋のみが非感潮区間に位置する。六角川本川の水質を既存のデータから見ると、水質の変動幅が異常に大きい。しかし、全体を通してみると、水質の年間変動は、1月、2月にSSが非常に高まりを見せ、それに伴ってCODがかなり上昇し、BODもやや上昇するという傾向にあり、時に6月や10月にもこのような現象が見られることがある。1982年の六角橋における測定水質項目のうち、環境基準に関係するものの変動状況を Table.1 に示す。この地点の水域類型はDなので、SSを除いては(感潮区間ではSSの項目についてのみ適用が除外されている)、すべて満足している。DOを除いては、BOD、COD、SSのいずれもS.D./Aveがかなり大きく、特にSSは1を越えている。したがって、経年変化のような傾向把握は非常に困難になっている。また、Max/MinもSSでは120、CODでは18、BODでは7.1、DOでは3.2とSSの影響を強く受けるものほど、その比が大きくなっていることが推定される。BOD/CODが0.14であることから、本川における有機物質は、

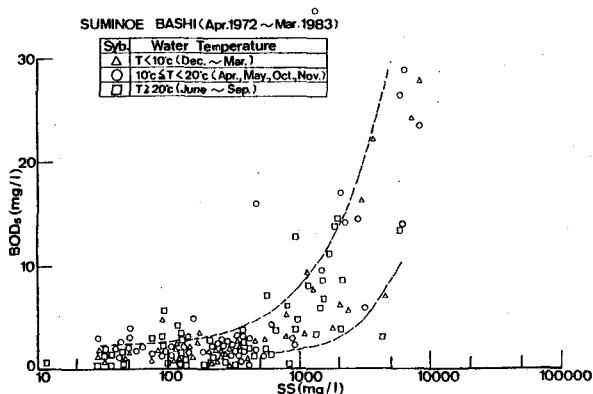


Fig.2 RELATIONSHIP BETWEEN BOD₅ AND SS
AT SUMINOEBASHI (3.8 km)

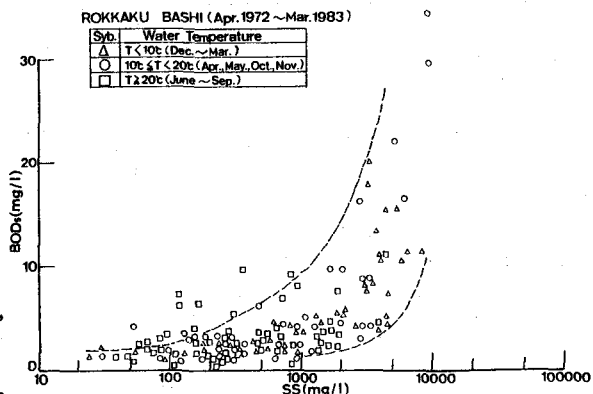


Fig.3 RELATIONSHIP BETWEEN BOD₅ AND SS
AT ROKKAKUBASHI (11.2 km)

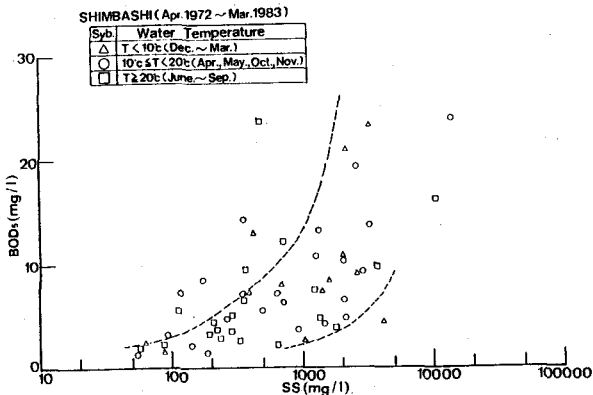


Fig.4 RELATIONSHIP BETWEEN BOD₅ AND SS
AT SHINBASHI (24.2 km)

生物分解性の低い、つまり、ほとんど生物分解を受けてしまっている物質が蓄積していることが解る。この値は、住之江橋では0.36となり通常の値に近くなる。住之江橋、六角橋、新橋の3地点におけるSSとBODの関係を水温別に示したものが、Fig.2～4である。これから解ることは、①SSの変動幅がかなり大きく、2桁以上変化すること、②SSの変化に伴ないBODも変化すること、③BODには、SSに依存するものとししないものがあり、六角橋地点では住之江橋地点よりその値は低い、④上流の方が、低いSSに対して大きいBODの値が出ていること、⑤同じSSの値でもBODとして、10 mg/l以上異なることがあること、⑥水温の低い時の方が、BODの値が大きくなる傾向にあること、等である。図中の破線は、SSとBODの関係を示すおおよその上下限を与えたものである。住之江橋地点でSSに依存しないBODを2 mg/lとすれば、SSに依存するBODは最大でSSの6/1000程度となる。六角橋地点でSSに依存するBODを1.8 mg/lとすれば、SSに依存するBODはSSの7.5/1000程度となる。新橋地点では、仮りにSSに依存しないBODを2 mg/lとすれば、SSに依存するBODは同じくSSの11/1000程度となる。都市河川と比べると、この値は1桁小さい。

4. 六角川の水質の時間変動特性

上述のように、通常の河川に比べて水質が大きく変動する理由として、季節的なものが考えられるが、もっとも基本となるものは時間的変動である。雑排水を受け入れている河川では時刻による水質変動が見られるが、河川感潮部では潮汐による影響が卓越する。河道方向に見たSSの時間的変化例をFig.5に示す。この例は、1983年11月20日の大潮の日に満潮から次の満潮まで、六角川本川5 Km, 11.2 Km, 17.2 Km, 20.6 Km, 24.2 Km地点で30分毎に計測したものである。SSは、巻き上がりを受けたり沈降したりするので、水塊とは移動速度が異なる。水塊の移動速度は、塩分濃度から推定できる。図中の△印は塩分濃度1 g/lの水塊の位置を示す。9時に5 Km地点が満潮となるが、20 Km付近は未だ上げ潮状態にあり、底泥が巻き上げられている。11時には全川下げ潮になっているが、SSはかなり沈降している。12時には、15 Km付近で特に底泥が巻き上げられ、干潮に至るまで下流に輸送されている。17時に干潮を経た後、上げ潮に移り、18時頃から再び底泥が巻き上げられ、上流に輸送されている。22時には、5 Km付近ではSSの沈降が見られるが、20 Km付近では依然として底泥が巻き上げられている。このことから、六角川本川において

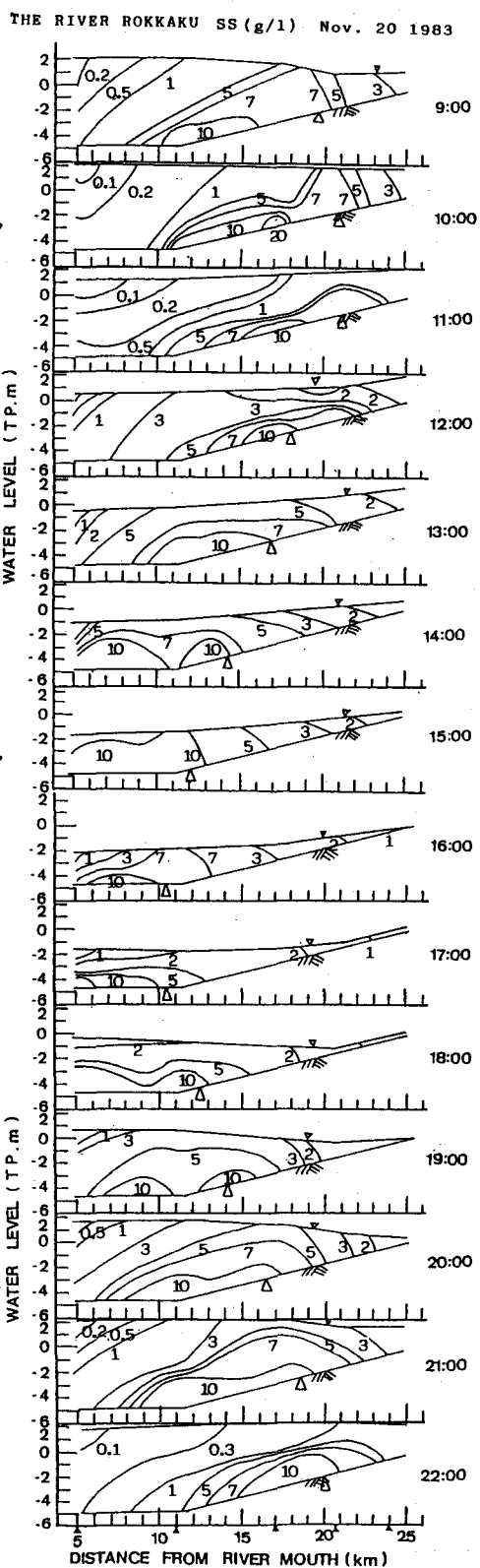


Fig.5 WATER QUALITY BEHAVIOR

は、満潮時、干潮時に沈積して生じた底泥が上げ潮時、下げ潮時に巻き上げられ水流により運ばれ、その輸送距離は8~10Kmに及ぶことが読みとれる。この現象は、強混合下にある筑後川でも観測されている。前述したように、BODやCODはSSと深くかかわっているので、SSが潮汐と関連して移動しているとなると、BODやCODも潮汐とともに変動することになる。

ある地点における水質の時間変化を見たものがFig.6~9である。Fig.6は1983年10月22日(大潮)の新橋地点、Fig.7,9はそれぞれ同年11月20日(大潮)の新橋・六角橋地点、Fig.8は同年12月27日(小潮)の新橋地点のものである。図中のBOD, COD, DOは水面下50cmにおける値である。Fig.6において、満潮の時刻は10時30分と23時00分頃であるが、この地点における満潮時刻は三池港のものより約1時間遅れる。Fig.6によれば、Fig.5で明らかにされたように、新橋地点では、満潮の直前にSSが最大となり満潮直後にSSが減少し、下げ潮に移って1時間後から底層部でSSが増え(表層部では余りSSは増加しない)、河川固有流が出現するところでSSが少し増加し、流れが反転して上げ潮に向う時に再度SSが減少した後増加するという周期性を有している。このようなSSの動きに連動して、BODはSSの高くなる時刻に他の時刻の2倍程度の値をとる。しかし、DOは急激には変化していない。Fig.7でもSSは、絶対値は異なるがその変動傾向はまったく同様である。BODに関しても同様の変動傾向をとる。CODに関しても同様であり、しかも、河川固有流の出現している場合にはBOD/CODが大きくなる傾向にある。Fig.8は、冬期小潮時のものである。SSの最大値が30g/lよりも大きくなっていること、小潮のために満潮直前のSSが十分に混合されていないこと、BOD/CODが小さくなっていること、等の違いは見られるが、傾向はFig.6, 7と同様である。河川固有流の現われている時間帯の後半部に現われる極値は、上流からの輸送によると考えられる。Fig.9は六角橋地点のものである。Fig.5によると、この地点をSSを高濃度に含む水塊が通過するのは干潮時に近い下げ潮時の頂度中頃である。Fig.9においてもこのことが良く読みとれ、SSの増加とともに、BOD, CODも増加していることも解る。BOD/CODは少し小さくなっている。Fig.6, 7, 8とFig.9を対照すれば、SSを高濃度に含む水塊が通過する時刻は、満潮時を基準にとってもそれぞれの地点で異なるので、水質測定には河川感潮部の水質の時間変動特性を全体的に把握する必要性のあることが解る。Fig.7, 9に相当する場合のBODとSSの関係を示したのがFig.10, 11である。Fig.10の新橋地点の例では、BODは、SSがかなり増加してもほとんど増加していない。Fig.11でも同様の傾向にあるが、SSが4g/l以下のところではSSの減少とともにBODも減少している。このことは、SSのうち低

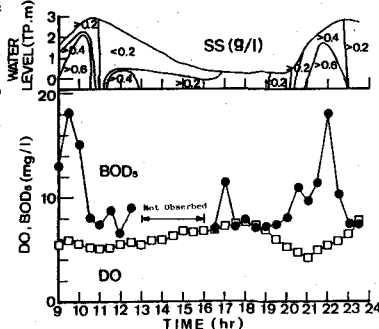


Fig.6 CHANGE OF WATER QUALITY AT SHINBASHI (OCT. 22 1983)

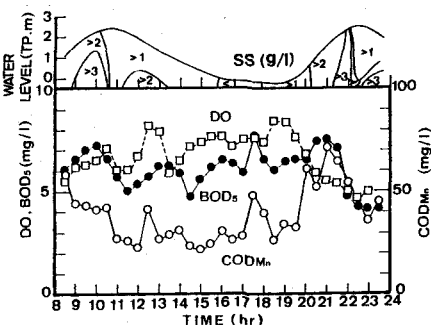


Fig.7 CHANGE OF WATER QUALITY AT SHINBASHI (NOV. 20 1983)

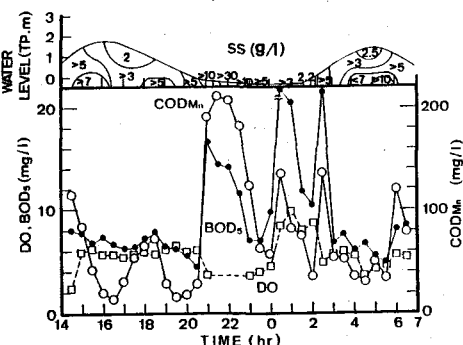


Fig.8 CHANGE OF WATER QUALITY AT SHINBASHI (DEC. 27 1983)

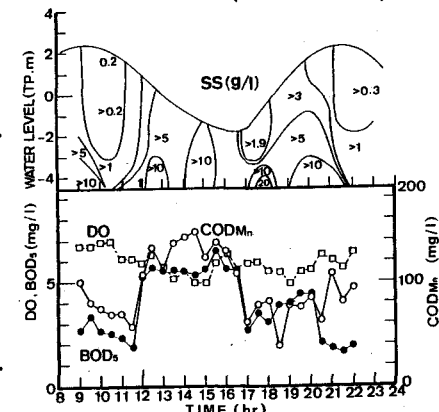


Fig.9 CHANGE OF WATER QUALITY AT ROKKAKUBASHI (NOV. 20 1983)

濃度域でも存在している物質、つまり、沈降速度の小さな物質は、生物分解可能なものがある程度含まれていること、逆に、高濃度域を形成するSSは、生物分解性の低いものが主になっていること、を示している。したがって、懸濁物質として一括して表現することは、BODとSSの時間変動を論じようとする場合に、本質を見失なわせる可能性のあることを示している。

5. 考 察

前節において明らかにしたように、河川感潮部においては潮汐に伴う水質の時間変動があり、その変動幅は、季節変化や経年変化を大きく

上回る場合がある。したがって、河川感潮部における水質調査は、潮汐を基準とする時刻と、その河川の水質変動特性を基とした水質調査法が確立されなければならない。Fig.12,13は、BODとSSについて、既存の六角橋地点でのデータを潮汐を基準とした時刻で整理し直したものである。六角橋では三池港の満潮時より10~20分遅れて満潮に達するため、その後1時間ほどで、つまり+70分のところでSS

の濃度が小さくなりBODも低くなる。また、-300分は、干潮時の停滞時に相当するので、この時刻においてもSSとBODは低くなっている。図中の破線は、最大値と思われるところを結んだものである。Fig.14は、新橋地点でのBODを同様に整理したものである。新橋では、三池港の満潮時より60~80分遅れて満潮に達するため、+100分付近でBODが低下している。+220分付近は下げ潮時の増加、0分付近は上げ潮の増加、-200分付近は河川固有流が出現しているときの上流域からの流下による増加と考えられる。Fig.12,13,14、いずれの場合にも水温の低い冬期の値が相対的に高い値をとっている。したがって、もう少しデータの集積を待てば、数値の低い場合の最大値についても明瞭に示し得ようになるとと思われる。これらの図中の破線を考える限り、BODで10数倍、SSで数10倍の差が採水時刻の違いにより生じる可能性があることになる。したがって、河川感潮部における水質変化を論じようとする場合、特に経年的、季節的变化について議論しようとする場合、採水を基準港の満潮時を基準にしていつ行なったものであるかを明らかにしておかなければ、ほとんど議論できないような質の低い情報となってしまう。現在のところ、河川感潮部は河川法の適用を受けているため、法的には河川とみなされている。このため、水質環境基準も河川のもものが適用されることになっている。河川感潮部の水質・水理特性も、河川に近いものから海に近いものまで広く分布するので、河川感潮部としてひとまとめにすると問題を生じることになるが、河川感潮部の採水方法として問題と思われる点を列挙す

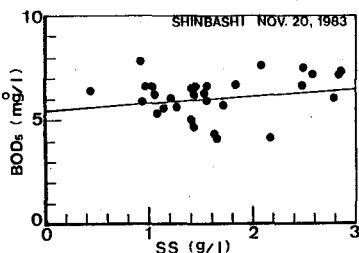


Fig.10 RELATIONSHIP BETWEEN BOD₅ AND SS AT SHINBASHI (NOV.20 1983)

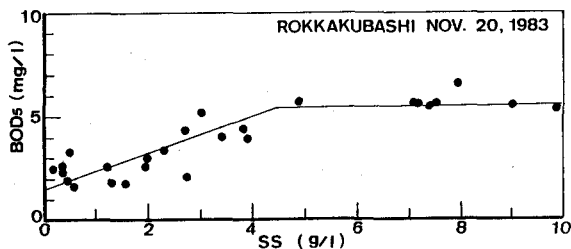


Fig.11 RELATIONSHIP BETWEEN BOD₅ AND SS AT ROKKAKUBASHI (NOV.20 1983)

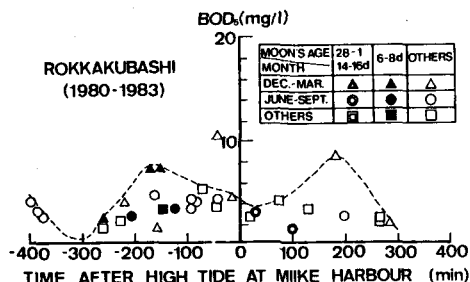


Fig.12 RELATIONSHIP BETWEEN TIME AND BOD₅ AT ROKKAKUBASHI

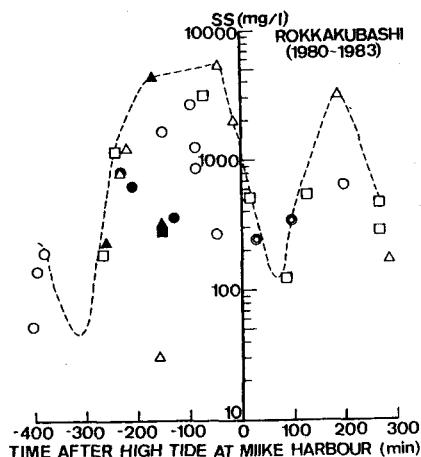


Fig.13 RELATIONSHIP BETWEEN TIME AND SS AT ROKKAKUBASHI (Legend is the same as in Fig.12)

ると以下ようになる。

- ① 基準地点の満潮時を基準にして採水が行なわれていないので、水質情報としての標準化がなされていない。
- ② 採水深が、水深の何割ということでは指示されていても流心を確定しておかなければ、鉛直方向に濃度分布のある場合には通常水面からの深さにより濃度が決まるので、水質情報としての質が低下する。
- ③ 蛇行している河川では、上げ潮と下げ潮で主流が位置を変えるので、採水位置を一定としても水質に変化をきたす可能性がある。

その他として、滞留時間の長いところでは、BOD指標がどれだけの意味を持ち得るかという難解な問題

もある。代表的な水質を算出するための方法として、低水量に相当するものとして75%値がとられているが、方法論としてではなく基本的な考え方として河川感潮部に適用するには、考え方を変更する必要がある。

本研究は、強混合河川をフィールドとして選んで行なったものであり、弱混合、緩混合の場合にはまったく異なった現象が観察される可能性がある。したがって、今後ともデータの集積を計っていかなければならないと考えている。

6. お わ り に

本研究を遂行するにあたり、種々の御便宜・御援助をはかって下さいました建設省九州地方建設局の方々にお礼申し上げます。また、本研究は、日本生命財団と一部文部省科学研究費総合(A)（代表者栗谷陽一）の援助を受けて行なわれたものであり、関係者各位に深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) Officer, C.B.: Physical Oceanography of Estuaries, John Wiley & Sons, New York, pp 3~5, 1976.

