

荒川感潮域における水質変動要因に関する 現地観測

FIELD OBSERVATION ABOUT HYDRAULIC FACTORS INFLUENCING
WATER QUALITY IN A TIDAL AREA OF THE ARA RIVER

本永良樹¹・武内慶了²・土肥学³・山田正⁴

Yoshiki MOTONAGA, Yoshinori TAKEUTI, Manabu DOHI and Tadashi YAMADA

¹学生会員 中央大学大学院 理工学部土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²学生会員 中央大学大学院 理工学部土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

³正会員 国土交通省四国地方整備局土佐国道工事事務所 (〒780-0026 高知県高知市奏南町1-4-101)

⁴正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

The objective of this study is to clarify the hydraulic and chemical factors affecting the water quality in tidal rivers. The authors have made field observations on the water quality of the Ara River. This paper reports the relationship of the hydraulic and chemical characteristics of water quality with the colloidal sediment in Ara River and water quality of inflow from the branches and Tokyo Bay to Ara River. The existence of colloidal sediment reduces the value of T-N in the Ara river. The water, poor in oxygen, flows into Ara River from relatively large branches. The form of seawater intrusion from Tokyo Bay influences the Dissolved Oxygen distribution of the river mouth.

Key Words : water quality, seawater intrusion, BOD, BOD flux, DO, colloidal sediment, T-N, T-P, Ara River, estuary

1. はじめに

1970年に水質汚濁防止法が制定された後, 都市河川の水質汚濁は改善されつつある。しかし, 人々が川で水に親しみ, 子供らが快適に泳いで遊ぶことが可能な水環境にまで回復したとはいえない河川も散見される。とくに都市河川の本川より支川にその傾向が強くみられる。本研究は河川の縦断方向の水質分布とその特性を現地観測により捉え, 河川の水質に影響を及ぼす要因を解明することを目的とし, 都市河川の水環境改善への足掛かりとするものである。本研究における対象河川は関東平野を流れる荒川の下流域である。著者らは1996年より6回の現地観測を実施してきた。本論文では, 著者らがこれまでに得た観測結果を報告するものである。

2. 荒川の概要

荒川は, 奥多摩の秩父山系に源を発し, 幹線流路延長が173km, 流域面積が2940km²の一級河川である。流域内

に埼玉県全域と東京都東部に位置する主要な都市を全て含んでおり, 全国の一級河川109水系の中でも流域内人口密度が約3130人/km² (平成2年) と最も高くなっている。そのため, 秋ヶ瀬堰 (埼玉県志木市, 河口から35km上流) から河口までの荒川下流域 (図-1参照) は, 複数の支川及び下水処理場, 樋門, 樋管からの下水処理水や

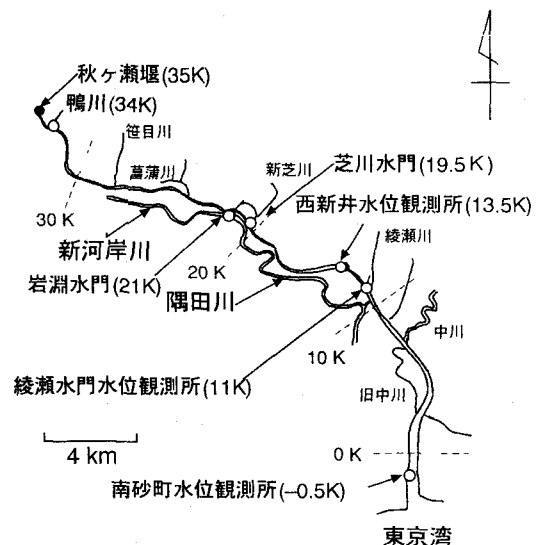


図-1 荒川下流域の概要

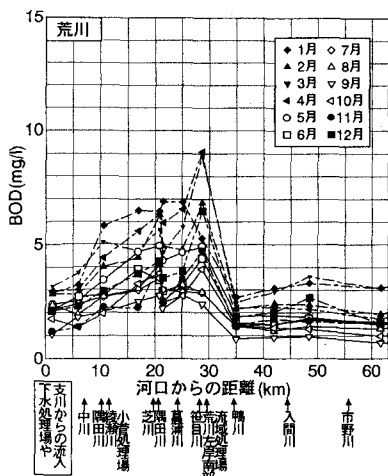


図-2 荒川におけるBODの縦断方向分布 (1991～1995年の平均)

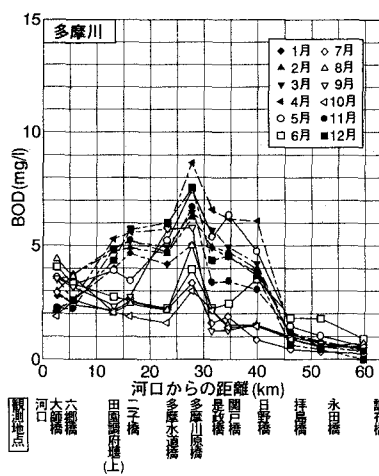


図-3 多摩川におけるBODの縦断方向分布 (1991～1995年の平均)

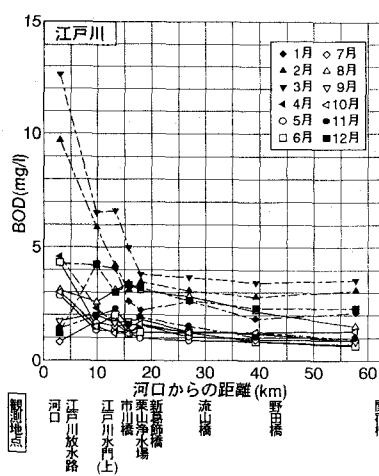


図-4 江戸川におけるBODの縦断方向分布 (1991～1995年の平均)

3河川とも東京湾に流出する河川であるが、水質縦断分布が明確に異なっている。荒川は秋ヶ瀬堰を境にその上流側は年間を通じて水質がほとんど変化していないのに対して、堰から下流ではBODが急勾配で高くなっている。冬期の方がより急勾配でBODが上昇する。

生活排水、工場排水の流入などにより、その上・中流域に比べBODに代表される水質基準および各水質濃度が高くなっているが、その実態は未だ明らかにはなっていない。

図-2は荒川における月ごとのBODの縦断方向分布図(1991～1995年の平均値)である。この図を作成するにあたり用いたBOD値は建設省河川局発行の水質年表から抜粋した。これによると、荒川は秋ヶ瀬堰を境にその上流側は年間を通じて、水質がほとんど変化していないのに対し、堰から下流ではBODが急勾配で高くなっている。河口付近ではBOD濃度は下がるが、これは荒川が感潮河川であることから、海水の遡上によって河川水が希釈され、水質濃度が低下するためと考えられる。荒川の水質縦断分布を月毎に比較すると、秋ヶ瀬堰下流においてBOD値の上昇勾配が、夏期に比べ冬期の方がより急であることがわかる。

図-3、4はそれぞれ多摩川、江戸川におけるBODの縦断分布である。多摩川は春期にBODの濃度が最大約8mg/lまで高くなる点で、荒川の水質縦断分布と一致するが、荒川は秋ヶ瀬堰よりも下流で水質濃度が高くなるのに対し、多摩川は河口から18km上流に位置する田園調布堰から下流でBOD濃度が低下する。江戸川におけるBOD濃度は縦断方向にほとんど変化しないこと、最下流の河口付近でBOD濃度が最も大きくなるのが大きな特徴である。このように河川の水質濃度縦断方向は河川ごとに異なる。このため、各都市河川における水質縦断分布特性を把握することが重要である。

図-5は荒川におけるBODフラックスの縦断分布である。ここで、BODフラックスは、BOD濃度に日平均流量をかけて算定したものである。BOD濃度は冬期に高く夏期に低い傾向があるのに対し、BODフラックスは冬期において小さく、夏期において大きくなる傾向が見られる。水質濃度とそのフラックスでは、異なる傾向がある。

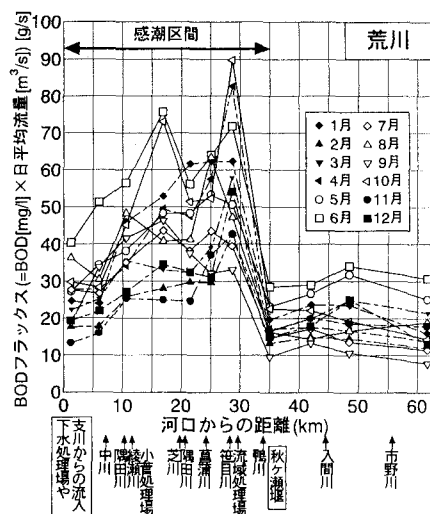


図-5 荒川におけるBODフラックスの縦断分布 (1991～1995年の平均値)

BOD濃度は夏期において低く、冬期において高い(図-2参照)のに対し、BODフラックスは夏期において大きく、冬期において小さい。

3. 現地観測の概要

現地観測は、荒川下流域(河口から秋ヶ瀬堰までの35km区間)を対象に、船による移動観測と定点における連続観測を行った。移動観測ではD-GPSを用いて船の位置を評定した。

移動観測における測定事項を以下にまとめる。多項目水質計(クロロテック、アレック電子製)を用いて水温・塩分濃度・溶存酸素飽和度を測定した。河口から上流に向かって6km毎に採水を行い、後日実験室でT-N、T-Pについて水質分析を行った。各地点とも水面付近・5割水深・河床付近の3点で採水を実施した。

各採水地点において河床表層の底泥(ヘドロ)を採取

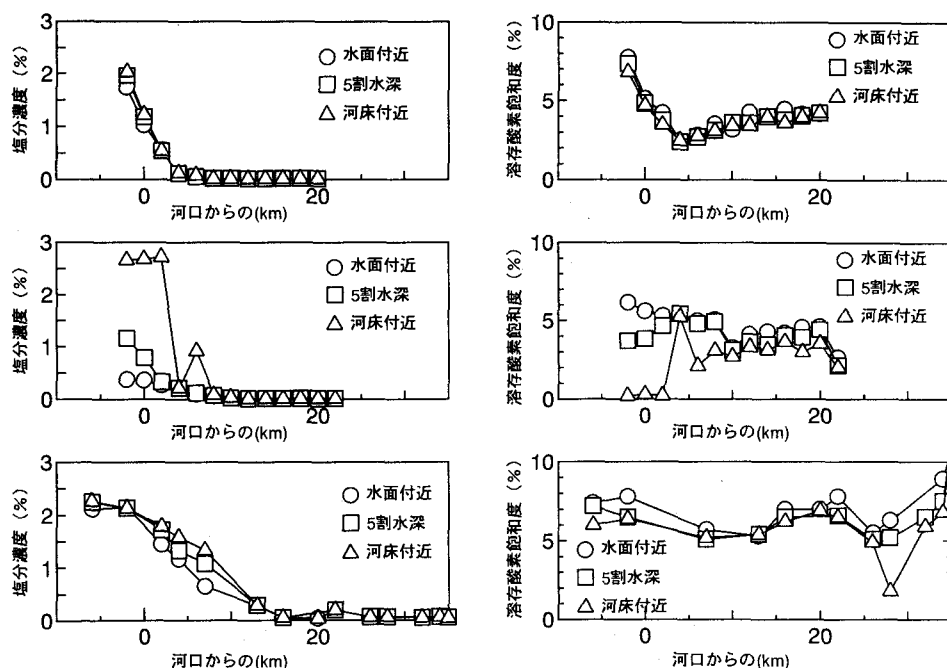


図-6 船上観測による塩分濃度、溶存酸素量の縦断分布図

(上から、1997/7/21 (夏・大潮時)、1997/7/27 (夏・小潮時)、1997/11/1 (秋・大潮時))

(小潮時 (1997/7/27) は塩分濃度による密度成層が形成され、下層の塩水部分が無酸素化している。大潮時 (1997/7/27, 11/1) には密度成層が形成されず、D0は鉛直方向に一樣である。

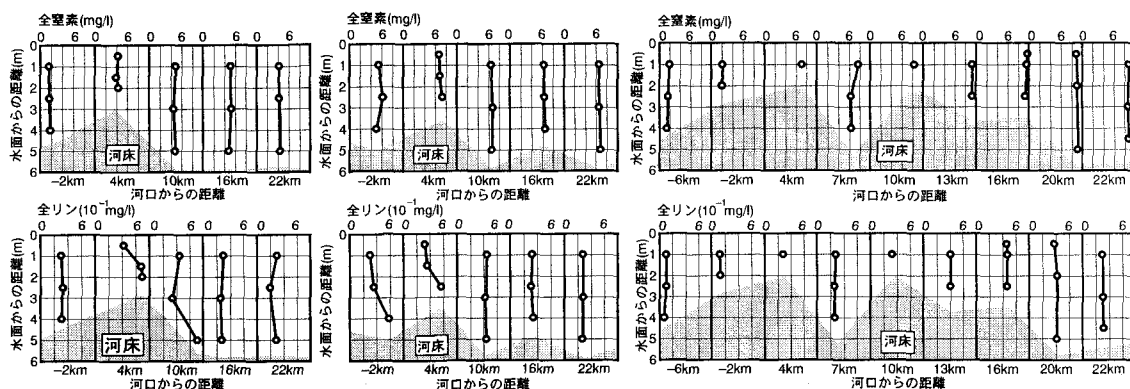


図-7 荒川下流域における全窒素、全リンの鉛直方向分布

(左から、1997/7/22 (夏・大潮時)、1997/7/27 (夏・小潮時)、1997/11/1 (秋・大潮時))

(全窒素は、観測機寒中、鉛直方向にほぼ一樣であった。全リンは、夏季 (1997/7/22, 27) には河口域の河床付近で高くなる傾向がみられる。一方、秋季 (1997/11/1) には水深方向にほぼ一樣である。

し、後日実験室で底質分析を行った。採泥にはエクマン・バージ採泥器を使用した。本論文においては、硫黄臭を有し、目視により理解できるものをヘドロと定義した。

連続観測における観測事項を以下にまとめる。

綾瀬 (河口から10.5km上流) においてメモリ式計測器を河川内に設置し連続観測を行った。観測時間間隔10分で、水温、塩分濃度、D0を測定した。芝川水門 (河口から19.5km上流で荒川と合流)、岩淵水門 (河口から21km上流)、鴨川 (河口から34km上流で荒川と合流) の3地点で橋梁からの定点観測を実施した。1時間間隔で水位、流速、水温、塩分濃度、D0を測定した。連続観測及び橋梁からの定点観測は1998/8/26～9/3の洪水期間中に実施した。

4. 観測結果と考察

(1) 荒川下流域の水質縦断分布

図-6は塩分・溶存酸素量の各水深 (水面付近・5割水深・河床付近) における縦断方向分布図である。河口付近における塩水濃度は大潮時 (1997/7/21, 11/1) は水深方向に一樣に分布しているが、小潮時 (1997/7/26) は下層で高く、密度成層が形成されている。密度成層が存在する時、下層の塩水部分は無酸素状態になっている。一方、大潮時の溶存酸素飽和度の縦断分布は夏期・秋期いずれも河口付近で約7%となる。河口より上流においては全般的に夏期の方が秋期に比べて溶存酸素飽和度が低くなる傾向が見られる。同じ大潮時であるに

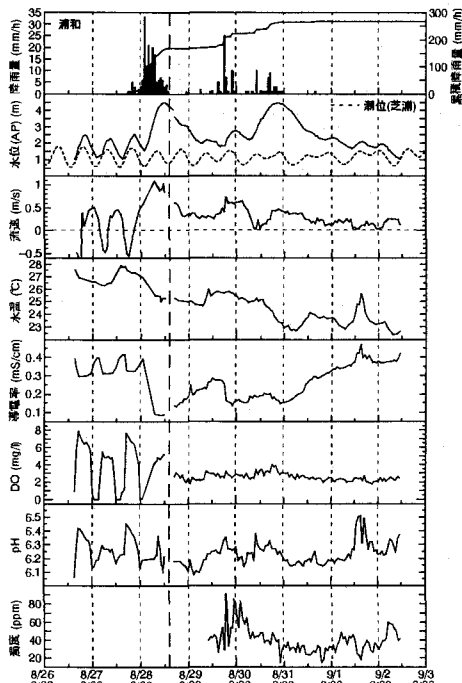


図-8 鴨川 (河口から34km上流) における水位、流速、水温、導電率、DO、pH、濁度の時系列図
(平水時の順流時(鴨川から荒川に向かい流入)には、DOがほぼ0(mg/l)である無酸素水塊が荒川に流入してく)

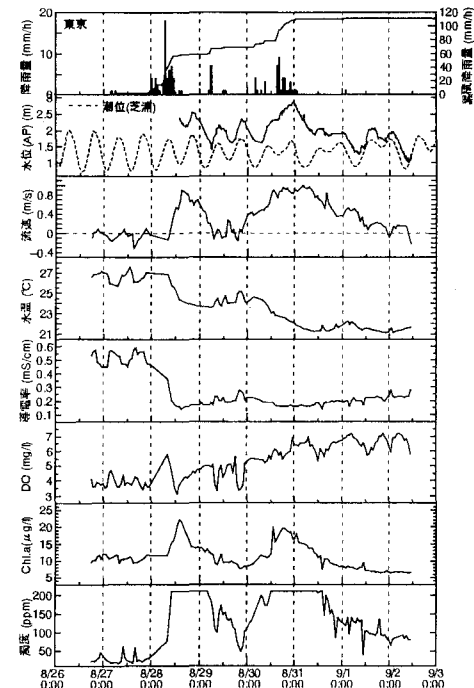


図-9 岩淵水門 (河口から21km上流) における水位、流速、水温、導電率、DO、Chl. a、濁度の時系列図
(隅田川から荒川に流れる河川水は、水温が低く、DOが高い)
流出時(8/28)の河川水質はDOが高く、Chl. aが多い
もかかわらず溶存酸素飽和度に差が生じるのは、夏期と秋期の水温差に起因すると考えられる。

図-7はT-N・T-Pの鉛直方向分布形状が荒川流下方向に変化する様子を示した図である。T-Nは大潮・小潮にかかわらず、鉛直方向にほぼ一律の値を示した。T-Pは夏期には大潮時(1997/7/22)と小潮時(1997/7/27)のいずれにおいても河口域の河床付近で高くなる。また、秋期の

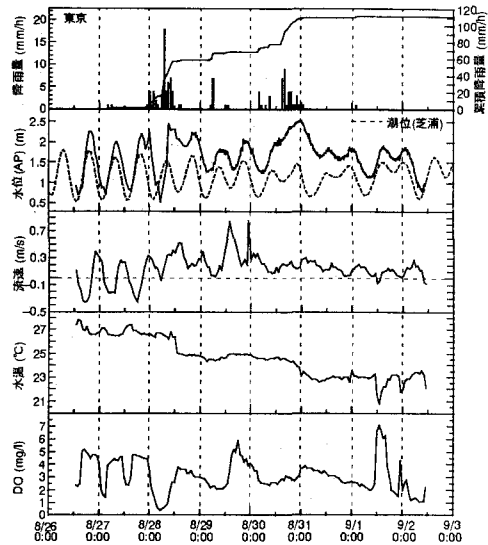


図-10 芝川 (河口から19.5km上流) における水位、流速、水温、DOの時系列図
(1998/8/26/0:00~9/3/0:00)

(平水時の順流時には鴨川と同様、負酸素水(DOが1~2mg/l)が荒川に流入している。)

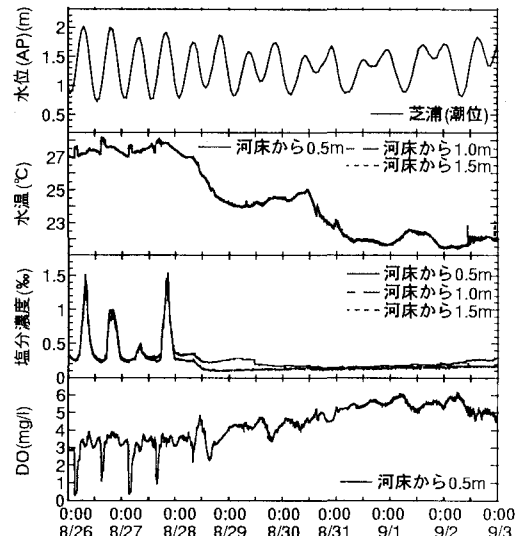


図-11 綾瀬水門 (河口から10.5km上流) における水温、塩分濃度、DOの時系列図
(1998/8/26/0:00~9/3/0:00)

(平水時には、干潮時に水温上昇とDOの低下が同時に起こる。その後、塩分濃度の上昇に伴い、DOは多くなる。)

大潮時における観測(1997/11/1)ではT-Pが水深方向にほぼ一様となった。同じ大潮時においても夏期と秋期でT-Pの鉛直方向分布に違いが見られた。

(2) 荒川と合流する支川を流れる水質の特性

荒川本川の河川水に比して、支川や荒川左岸南部流域下水処理場からの流入水のBOD濃度が高い。荒川本川の水質分布を考える上で、支川からの流入状況を把握することが必要である。

鴨川(河口から34km上流で合流)、芝川(河口から19.5kmで合流)、綾瀬川(河口から10kmで合流)の4支川にて行った水質の連続観測の結果を以下に示す。

図-8は鴨川における水位、流速、水温、導電率、DO、

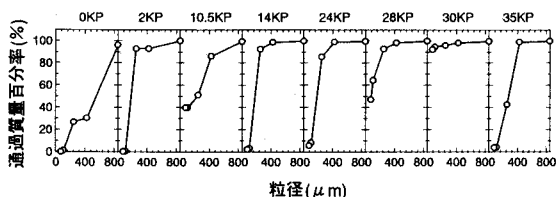


図-12 荒川感潮域における河床材料の粒度分布図
(1999/12/27 河床材料採取)

30KPにおける河床材料の粒度分布が他の地点よりも細かくなっていることから、この地点にのみ底泥(ヘドロ)が堆積していたことを示している。他地点は全て河床が砂地であった

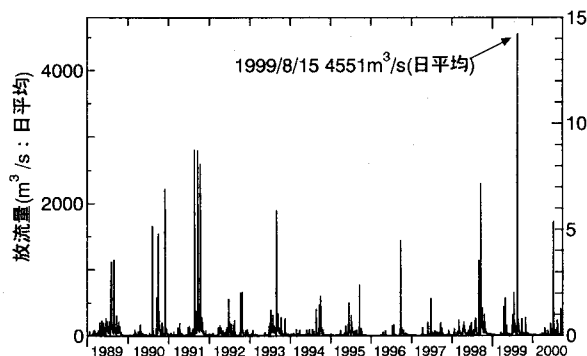


図-13 秋ヶ瀬堰放流量の時系列図
(1989/1/1~2000/9/30)

1999/8/15に秋ヶ瀬堰の日平均放流量が4551m³/sと過去10年間に於いて最高値を記録した。これにより底泥(ヘドロ)が東京湾に吐き出されたと考えられる。

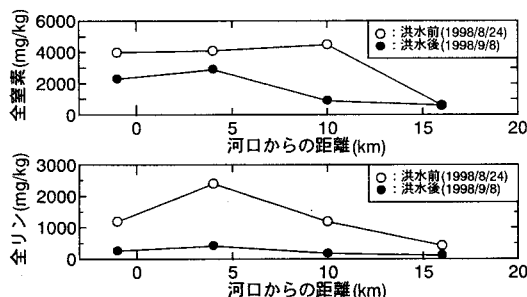


図-14 荒川河口域における洪水前後の底質中の全窒素、全リン濃度の縦断方向変化
(洪水により栄養塩負荷の高い底泥が流出された)

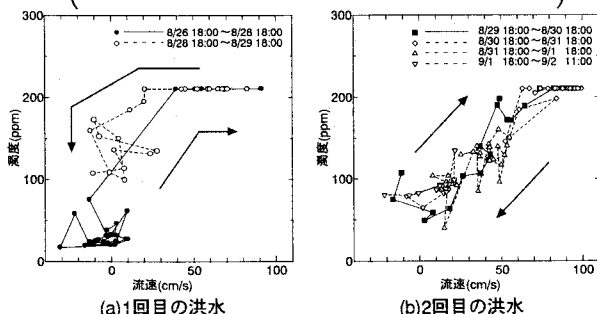


図-15 岩淵水門における洪水時の流速と濁度の関係

(1回目と2回目の出水において流速と濁度の減少時の変化)に違いがみられる

pH、濁度の時系列である。平水時の順流時(鴨川から荒川に向かい流入)には、無酸素の河川水が荒川に流入している。逆流時にはD0が6~8(mg/l)、溶存酸素飽和度が

ほぼ100(%)の河川水が荒川から鴨川に逆流している。

図-9は岩淵水門における水位、流速、水温、D0の時系列である。平水時に、墨田川から荒川に流れる河川水は水温が低く、D0が高い。出水時には、荒川から隅田川に向かう流れで、流速は最大1.0(m/s)であった。初期流出時(8/28)の河川水質はD0が低く、Chl. aが多い。これは出水前に岩淵水門より上流で溜まった河川水が流出したと考えられる。

図-10は芝川における水位、流速、水温、D0の時系列である。平水時の順流時には貧酸素水(D0が1~2mg/l)が荒川に流入している。逆流時に芝川に流入する荒川の水はD0が4~5mg/l(飽和度で60~70%)である。出水時にはまず、芝川に溜まっていたD0がほぼ0(mg/l)の貧酸素水が全て流出し、その後はD0が高くなる。9/1において、D0が2(mg/l)から7(mg/l)まで上昇している。これは荒川から逆流した河川水の水質であり、出水により荒川本川のD0が高くなっている。

図-11は、綾瀬水門と荒川の合流部から10mほど上流に位置する綾瀬水門水位観測所における水位、水温、塩分濃度、D0の時系列である。平水時には、干潮時に水温上昇とD0の低下が同時に起こる。その後、塩分濃度の上昇に伴い、D0は多くなる。これより綾瀬水門を通じて干潮時には綾瀬川から荒川へ無酸素水の流入があると考えられる。

(3) 秋ヶ瀬堰放流による底泥の吐き出し

過去の観測中1999/12/27の観測においてのみ30KP付近を除き底泥(ヘドロ)が存在しなかった。

図-12は1999/12/27の観測時に採取した河床材料の粒度分布の縦断方向分布図である。30KP付近以外では河床材料の粒度が粗くなっていることより30KP以外では底泥(ヘドロ)が存在しなかったことが確認できる。

図-13は1989/1/1~2000/9/30における秋ヶ瀬堰放流量(日平均)の時系列分布図である。1999/8/15に秋ヶ瀬堰において過去10年間で最大の放流量(日平均: 4551m³/s)を記録しているのがわかる。これにより底泥が東京湾に吐き出されたと考えられる。

図-14は1998年8~9月に荒川で発生した洪水の前後における底質中の全窒素・全リン濃度の縦断分布図である。洪水前後において底泥中の全窒素・全リン濃度が大きく減少している。

図-15は岩淵水門(20.5KP)における洪水時(1989/8~9)の流速と濁度の関係図である。出水時には流速の増加とともに濁度も増加している。これは流速の増大に伴い底泥の巻上げがあったためと考えられる。

図-14、-15の結果から荒川における大流量により底泥表層に堆積していた底泥(ヘドロ)が東京湾に流出することがわかる。

(4) 荒川下流域における底質と水質の相関

図-16は1999/12/27(底泥が存在しなかった)と2000/10/20(底泥が存在した)における水温・塩分濃度

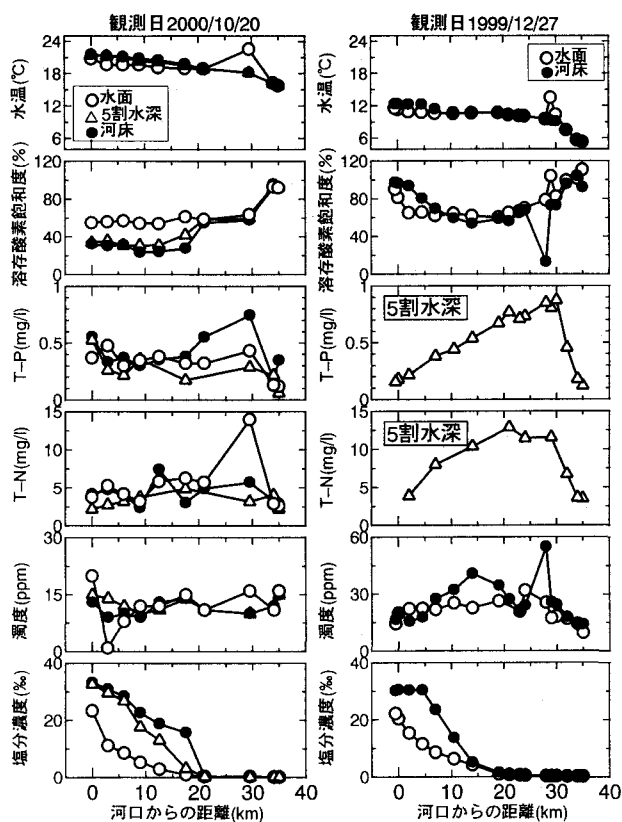


図-16 1999/12/27、2000/10/20における水温・溶存酸素飽和度・T-N・T-P・濁度・塩分濃度の縦断分布比較図
(1999/12/27は中潮、2000/10/20は小潮である。両観測時の塩水遡上距離はほぼ同じ(17.5km)である。)

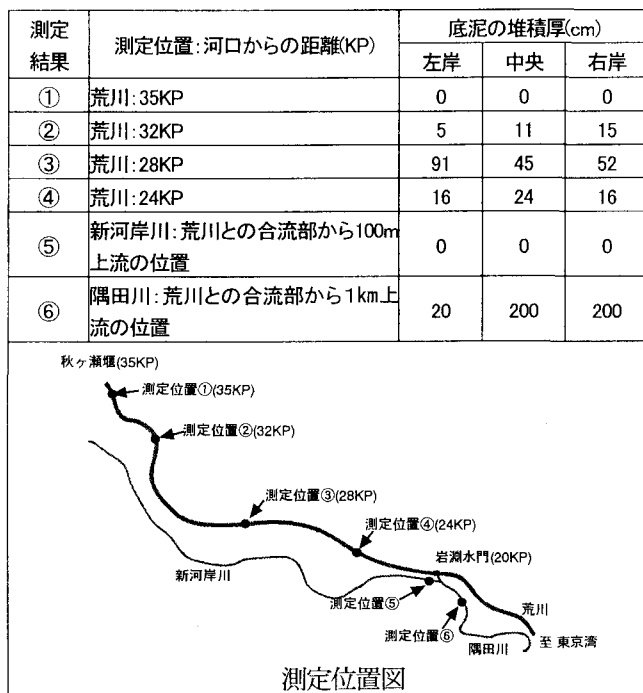


図-17 底泥層厚の測定結果

(河川蛇行部の曲率の大小に関わらず、底泥(ヘドロ)は蛇行部の凹部より凸部に多く堆積する傾向がある。)

・溶存酸素量・T-N・T-Pの縦断方向分布の比較図である。
5割水深におけるT-N・T-Pの縦断分布に着目する。

2000/10/20と1999/12/27の観測結果を比較すると、ほぼ全地点において前者の方が後者よりも値が低くなっていた。栄養塩の発生源である底泥(ヘドロ)の存在した方がT-N・T-Pの値が低いことから一概に底泥の存在が水質悪化させているのではない可能性がある。しかしながら、河川水質には底質からの栄養塩の供給の他にも支川からの流量や上流からの移流の効果などが影響してくる。

図-17は荒川における底泥総厚の測定結果である。今後河川における底質と水質の相関を研究するために、底泥の量的評価が必要となる。これはその一例である。

5. 結論

荒川の水質に影響を及ぼす要因として次のことがわかった。

- (1) 東京湾からの海水遡上形態により河床付近におけるD0の鉛直方向分布が異なる。
- (2) 比較的大きな支川である鴨川、芝川、綾瀬川から荒川へ貧酸素水が流入することがわかった。洪水時には各支川に溜まっていた汚濁負荷物質が初期流出時に一気に吐出された後、荒川本川の河川水のD0が高くなることが分かった。
- (3) 河床に底泥(ヘドロ)が堆積していないときに比較して、底泥が堆積しているときの方がT-N・T-Pの値が低かった。今後、移流や潮汐の効果をも考慮して底泥と水質の相関を調査する必要がある。

謝辞：現地観測を行うに当たり、旧建設省関東地方建設局荒川上・下流工事事務所から多大なる支援を頂いた。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 建設省河川局編：水質年表、1985-1995。
- 2) 布村昭彦・吉川秀夫・柴田正和：感潮河川の水質特性(1)——水環境管理を目指して——、河川環境総合研究所報告第2号、pp. 29-61、1996。
- 3) 土肥学・竹野顕・三沢大輔・志村光一・池永均・山田正：荒川下流域における水質分布特性、水文・水資源学会1998年研究発表会要旨集、pp. 220-221、1998。
- 4) 小柳聡・佐藤武司・志村光一・山田正：荒川感潮域における水質諸量の分布特性と底質に起因する汚濁負荷についての研究、第28回関東支部技術研究発表会要綱集、II-37、204-205、2001. 03。
- 5) 吉本健太郎・布村明彦・志村光一・山田正：超音波を用いた底泥層厚の測定と底泥の分布特性について、土木学会第54回年次学術講演会要綱集、482-483、1999. 09。

(2001. 10. 1受付)