

荒川下流部感潮域の水環境管理のための基礎調査

Basic study for water-environment management in the Ara-River estuary

布村明彦* 柴田正和** 南裕二***
Akihiko NUNOMURA, Masakazu SHIBATA, and Yuji MINAMI

Since November 1994 comprehensive field study has been performed in the Ara-River estuary three times to simultaneously measure the hydraulic and water-quality indices for 24 consecutive hours. The data are here analyzed to ultimately establish a method to protect the water quality in the area. For this purpose special emphasis is laid on the flux of water-quality indices, and the water-quality management is proposed with respect to such indices as COD, DO and TN that can be measured instantaneously.

Keywords : water quality, estuary, field observation,
flux of water-quality indices

1. はじめに

感潮河川の水質問題についての研究は古くから行われており^{1) - 13)}、特に六角川では懸濁物質と底泥の挙動に着目した研究がある^{14) - 17)}。また、塩水楔等の成層現象、塩分の水質への影響に関する研究も活発である。しかし、各種の水質項目についての総合的な現地連続観測に基づく研究は未だ実施されていない。

近年、河川等の水環境の管理を総合的かつ具体的に進めていく必要性が高まっている中で、河川の感潮域の水環境管理のためには、その複雑な流動と水質変化のメカニズムを明らかにすることが不可欠となっている。

このため、建設省では、荒川下流部の水環境のメカニズムを明らかにすることを目的として、平成6年11月(大潮)、12月(小潮)及び平成7年8月(大潮)に24時間連続の総合水理水質観測を実施し^{18) - 19)}特に平成7年8月には当該大潮に隣接する小潮、長潮、中潮時にも連続観測を実施

- * 正会員 工修 建設省関東地方建設局企画部企画調査官 (前荒川下流工事事務所長)
(〒100 東京都千代田区大手町1-3-1)
- ** 正会員 Ph. D. 応用数理解析 (〒244 横浜市戸塚区矢部町1286-7)
- *** 正会員 環境科学修 建設技術研究所技術5部 (〒103 東京都中央区日本橋堀留町1-7-7)

した。

本論文では、既に整理解析の終了した平成6年11月、12月の2回の観測結果等を用いて、荒川下流部感潮域の水環境管理の方策のための検討を行うものである。なお、塩水楔等の成層現象についてはここではふれない。

2. 荒川下流部等の水環境の状況

荒川下流部では河床が海水面より低い河道部分が多い。河口より約30 kmに位置する笹目橋においても潮汐による順逆流交替を生じ、小潮、長潮時には塩水楔の形状を示す塩水遡上も観測される。すなわち、荒川では河口から約35 kmの秋ヶ瀬堰より下流区間が典型的な感潮域の様相を呈している。また図-1に示すように、この区間には、鴨川、新河岸川、芝川、綾瀬川などの支派川と下水処理場からの排水が流入し、特に隅田川とは新岩淵水門と隅田水門を介して複雑な水交換を行っている。

荒川や隅田川の水質は、高度成長時代に悪化の一途をたどり大きな社会問題となった。その後、下水道の整備や利根川からの浄化用水の導水などにより相当回復してきているが、近年、身近に親しめる水辺への欲求が著しく高まる中で、さらなる改善が強く要望されているほか、荒川では数年に一度、魚の浮上事故も発生しており、抜本的解決策を見出していく必要がある。また、荒川の水質と密接に関連する綾瀬川や江東内部河川等の水質の改善も急務となっている。

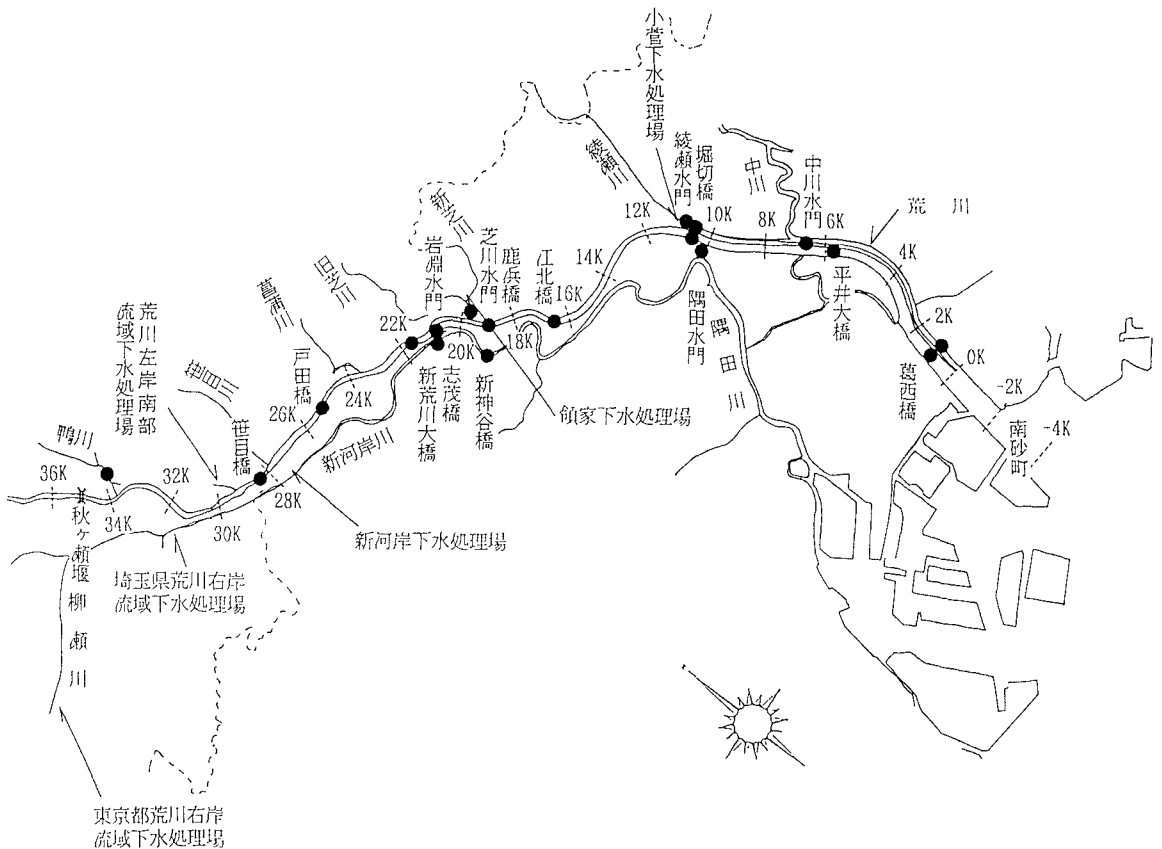


図-1 荒川下流部平面図と調査地点

魚の浮上事故は、河口から21.5kmの新荒川大橋より上流で、5月から9月の夏季の日平均気温 20°C 以上、秋ヶ瀬堰放流量 $5\text{m}^3/\text{s}$ 以下が数日続いたのちに小出水のあった直後という条件の下で発生している。事故発生直後の採水からは有毒物質が確認されておらず、直接の原因はDO濃度の低下と推測できる。秋ヶ瀬堰からの放流水と河口から侵入する海水は、ある程度良好な水質を維持しているので、DO濃度の低下の原因は、流入支川からの汚濁負荷、DO濃度の低い水の流入及び河床からの汚濁物質の巻き上げであると推測できる。

3. 総合水理水質連続観測

平成6年11月15日9時-16日9時(大潮, 河口部を除いて強混合状態)及び12月13日7時-14日7時(小潮, 弱混合状態)に、24時間連続の総合水理水質観測を実施した。本観測では必要に応じて1ないし3時間間隔で、水位、流量、水質(DO, BOD, D-BOD, COD, D-COD, SS, TN, TP, TOC, 塩素イオンの各濃度)を、荒川下流部の約20の河川基準地点と支川流入水門において、全水深の2, 5, 8割の各水深で採水測定した。必要と認めた場合にはさらに左右岸の2測線をも加えた。なお、調査地点は図-1に●印で示している。

新岩淵水門では順流最強時を除外すると、新河岸川、隅田川から荒川方向へ流れていることが明らかになった。現在、新河岸川、隅田川の水質は荒川の水質より悪い場合が多いので、荒川の水環境管理上、新岩淵水門を通過する汚濁物質の負荷の制御が重要となる。

支川からの汚濁物質の負荷では、その他に鴨川、芝川、中川が比較的大きいことが明らかになった。

24時間の連続観測を実施することにより、潮汐に伴う水位、流量、水質の動的な変化を把らえることができたが、本論文ではこれら水理水質現象のうち特に潮汐の周期にわたって平均した流動及び水質のフラックスと負荷量に照準をあてて検討することとする。

4. 河川水質の変化機構の汚濁負荷量による把握

河川の水質管理の指標は一般に各水質項目の濃度になっている。確かに濃度は水質を直截的に表現するものではある。しかし、例えば河川を流下するに従って汚濁物質の濃度が低下して水質が良くなった場合にも、それは直ちに汚濁物質が除去されたことを意味するわけではない。それは単に、支川からの汚濁物質濃度の低い「きれいな水」が供給されて薄められたのであり、汚濁物質の総量は減少していないということもありうるわけである。即ち、水質変化の機構、特に汚濁物質の流入を明確にするためには、その水質項目の流入総量である負荷量、あるいは通過フラックスを把握することが重要になる。以下では、潮汐による順逆流の動的影響は一応二義的なものと捉え、まず各流入支川からの水及び汚濁負荷の総量(または平均量)の把握を重視することにする。

4. 1 河川固有(潮汐平均)流量

河道のいくつかの地点に浮子または染料のようなトレーサーを配置して、それらが河道断面平均流速で移動した場合の軌跡を描いたのが図-2である。平均流速は11月(大潮)の観測値を用いた。図中の☆印はSSの極大を示す地点を示すもので、これがほぼ流れに沿って移動していることが分かる。観測期間中の潮汐及び流速が同様に繰り返した場合には、秋ヶ瀬堰から河口までの移動所要日数は、大潮の場合で約7日、また小潮の場合には約8日である。

河川の各地点の水位がほぼ元の高さに戻る24時間の平均流量を河川固有流量と考える。まず、毎正時の観測流量から24時間の平均流量を算出したが、このままの数値では観測誤差が避けられないので、次に24時間の河道内貯留量の変化と支川流入量とを考慮しつつ上流からの累積固有流量を算出し、これと比較検討することによって河川固有流量を決定した。その結果を図-3に示す。河川固有流量は秋ヶ瀬堰の放流量に支川からの流入量に加わって漸次増加していくが、11月(大潮)の堀切橋下流の隅田、中

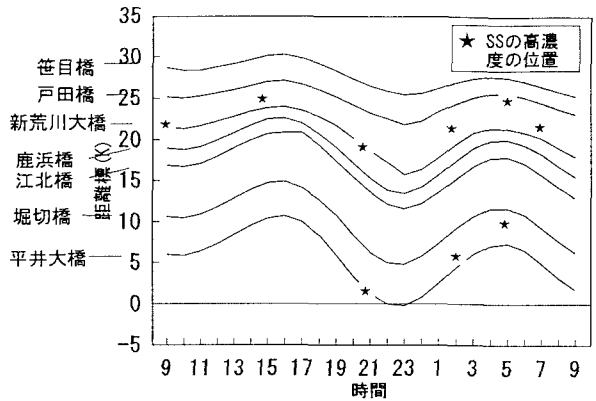


図-2 平均流速で移動する粒子の軌跡

川水門での水収支がマイナス(支川への流入超過)となったため、堀切橋から葛西橋の区間では河川固有流量が減少している。また、葛西橋では潮汐による順逆流のピーク流量は大潮で1,000 m³/sにも達するが、河川固有流量は40 m³/s台である。

4.2 水質の潮汐平均フラックス

秋ヶ瀬堰から葛西橋の35 km区間について河川固有流量に対応する水質の平均フラックス(負荷量)と水質の平均濃度の流下方向変化をBOD, COD, DOについて示すと図-4. 1~4. 3のようになる。ここに、細実線(●)は11月観測の流量またはフラックス、細破線(■)は12月観測の流量またはフラックス、太実線(●)は11月観測の濃度、太破線(■)は12月観測の濃度を表す。

BODとCODのフラックスは大潮及び小潮ともに互いに非常によく似た傾向を示している。すなわち、秋ヶ瀬堰から笹目橋までは鴨川等の支川からの汚濁負荷の影響でフラックスが増加した後、新荒川大橋までは懸濁粒子の沈降等による自然の浄化過程によりフラックスが減少する。実際、笹目橋から下流では沈降によると見られる底質汚泥の堆積が顕著である。新荒川大橋の直下流の新岩淵水門、芝川水門からの高い汚濁負荷により鹿浜橋でフラックスは急増するが、江北橋までの間にフラックスは目に見えて減少する。これは、流入汚濁負荷のうちかなりの割合が懸濁態のものであり、本川に流入して高濃度のNa⁺, Mg²⁺の影響で凝集し沈降しやすくなるためであると推測できる。江北橋から堀切橋まではフラックスの変化は小さい(3例で微増、1例で微減)が、河口近くの葛西橋ではフラックスは汚濁負荷の小さい海水流入の影響で減少している。観測当日は平水時であったが、出水時には底質の巻き上げが増加するので、下流へゆくに従ってこれよりも汚濁物質のフラックスが増加することになるであろう。

DO濃度の測定のための採水は5割水深でしか行わなかったため、特に塩水楔を形成している大潮の河口付近と小潮の場合には、その測定値が必ずしも河道断面平均を代表していないと考えられ、精度に問題があるが、定性的には新荒川大橋付近でDOフラックスの減少が顕著であることが分かる。平成7年度調査では採水水深を増やしたので、その解析結果については改めて発表する。

一方、SSのフラックスについてはここに示していないが、新岩淵水門、芝川水門からの大きな負荷があるため、新荒川大橋と鹿浜橋の間でSSのフラックスが急増していることが認められる。

5. 河川水質管理の指標

従来、BODが河川の水質管理指標として使用されてきている。BODに寄与するのは生物により分解される有機物とアンモニアである。典型的な下水処理場では、この有機物は95%以上汚泥として除去するがアンモニアは50%程度しか除去していない。

図-5. 1, 5. 2は建設省所管の浄化施設の流入流出する水の水質を、横軸にCODとTNの和、縦軸にBODをとって比較したものである。これから流出水の水質はBODが著しく改善されているが、総窒素(TN)が残存していることが分かる。

CODに寄与するのは化学的に分解される有機物であり、BODに寄与する有機物の範囲よりも広い。一方、アンモニアはBODには寄与するがCODにはほとんど寄与しない。従って、アンモニア含有量の少ない水では一般にCODがBODより大きくなり、下水処理排水の影響の大きくアンモニア含有量の多い水ではBODがCODより大きくなる。

また、BODの測定には5日を要するが、COD、DO、塩素イオン、TNは即座に測定値を得ることができる。BODにはまた、同じサンプルから複数回の測定を行った場合に相互に誤差が大きく出るという欠点もある。

5. 1 BOD, COD, TNの相関

図-5. 1, 5. 2からも分かるように、BOD, COD, TNの間には互いに相関のあることがうかがえるが、今回の荒川の観測結果からは、BOD濃度の非常に高い鴨川の8サンプルのデータ(図-6. 相関係数0.99)を

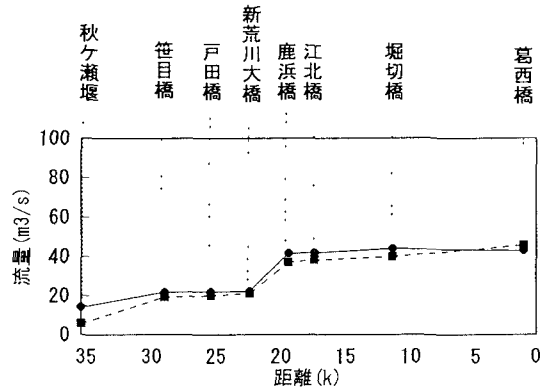


図-3 河川固有流量

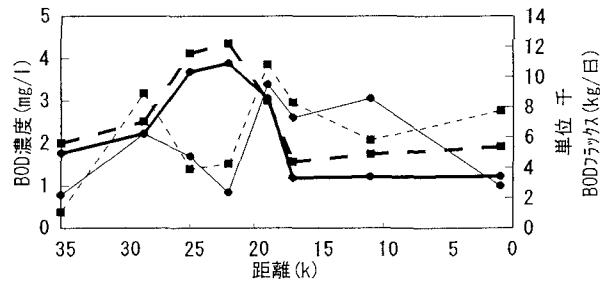


図-4. 1 BODの平均フラックスと濃度

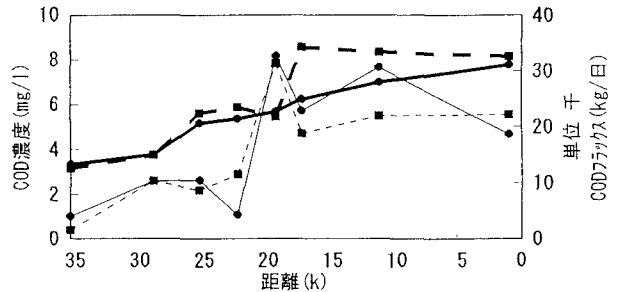


図-4. 2 CODの平均フラックスと濃度

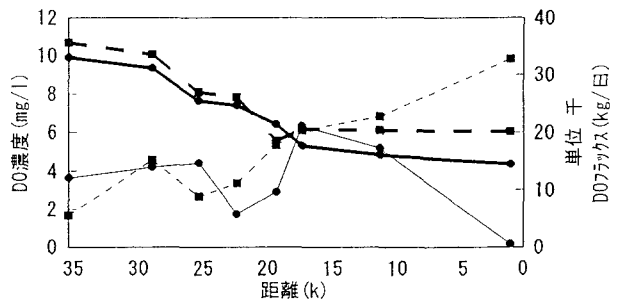


図-4. 3 DOの平均フラックスと濃度

除いて、これらに高い相関のある関係式を得ることができなかった。これは、荒川の河道内でも、新河岸川など下水処理水の影響の大きくCODよりBODが高くなる範囲と、それ以外のCODの方が高くなる範囲に分かれるためであることと、それ以上にBODの測定値が不安定であることによると推測できる。

従って現状では、測定値が安定しており、即座に観測値を得ることのできるCODをBODに代わる水質管理指標として用いる方が実際的であると考えられる。

今後、データの累積をまって、BOD, COD, TN間の関係を得ることができれば、即座に測定結果が得られるCODとTNの観測値から測定に時間を要するBODの値を推定し、BODの急激な増加を発見したときには迅速な対策を講ずることが可能になる。

5. 2 DO, 塩素イオン濃度による水質監視

DO及び塩素イオン濃度も自動同時観測が可能である。特にDO濃度の低下は魚の浮上事故の直接原因と推測されているので、これを河川に沿って十分密な間隔で自動観測することにより、DO濃度の低下傾向を察知し、空気中からの再曝気の促進等の対策を迅速にとることができよう。

荒川下流部では、大潮、中潮時には河口部を除いて強混合状態であるが、小潮、長潮時には弱混合状態となり、新荒川大橋より上流にも塩水楔が形成、遡上する。この際、上下層の水はそれぞれ河川固有流と海水を起源とし、通常、水質も異なっている。DO濃度の自動観測地点で同時に塩素イオン濃度

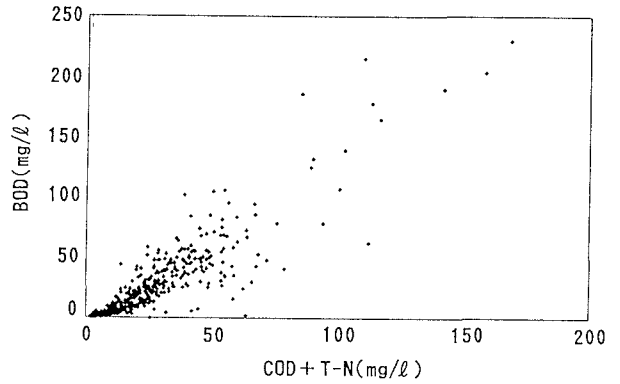


図-5. 1 浄化施設への流入水質の相関

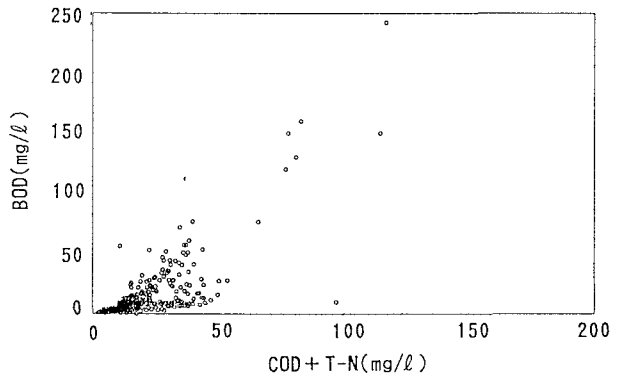


図-5. 2 浄化施設からの流出水質の相関

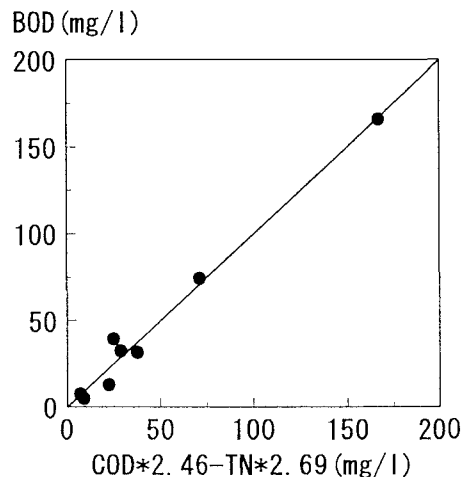


図-6 鴨川の水質の相関

を測定することにより、水質を異にする河川固有の流れと海水の挙動を監視することができよう。

6. まとめ

平成6年に荒川下流部で2回実施した24時間連続の総合水理水質観測の結果を用いて、水理、水質項目のフラックスについて検討した。

まず、流量から潮汐に起因する成分を除去して河川固有流量を算出した。

次に、感潮域特有の水理、水質上の挙動が存在するだけでなく、下水排水や汚濁河川からの流入量も多い等の特徴を有する、複雑な水質変化の機構を明らかにするために、各水質項目のフラックスによる整理を行った。その結果、影響の大きい汚濁負荷源が明らかになり、荒川下流部の水理水質の全体機構をある程度、定量的に把握することができた。

また、測定に時間を要し、測定値のばらつきも大きいBODに代わる水質指標の検討を行い、CODとTNがBODとの間で一定の相関関係にあることが見出せ、一部の特定のサンプルにおいてはCODとTNにより相当精度よくBODを表現することができた。

BODのCODとTNによる置き換えを実用に耐えうるものにしていくためには、さらに詳細な検討が必要であるが、CODやTNに限らずDOや塩素イオン濃度等も即座に測定値を得ることができる水質指標であり、これらの自動観測網を整備することにより、迅速かつ的確な水環境管理の対策を講じていくことが可能であると推測される。

平成7年度の夏季連続観測では、平成6年度の成果と反省を踏まえて、河道断面内の水理水質分布の実測に注意を払ったので、この解析結果の整理を経てさらに詳しい検討を行いたいと考えている。

謝辞

(財)河川環境管理財団河川環境研究所長、吉川秀夫博士には、本研究の立案企画、実施計画、解析検討、とりまとめのあらゆる側面において貴重なお助言を戴いた。記して深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) Prichard, D. W. : Estuarine Circulation Patterns, Proc. ASCE, Sep. No. 717, Vol. 81, 1955.
- 2) Harleman, D. R. N. : Chap. 12, Estuary and Coastline Hydrodynamics, Ippen, A. T., Editor, McGraw-Hill, 1966.
- 3) Harleman, D. R. N., Lee, C. H., and Hall, L. C. : Numerical studies of unsteady dispersion in estuaries, J. Sanitary Engineering Div. ASCE, Vol. 94, No. SA5, Proc. Paper 6160, pp. 897-911, 1968.
- 4) 吉川秀夫: Estuary の水理, 水工学夏期研修会テキスト, 土木学会水理委員会, 1970.
- 5) Thatcher, M. L. and Harleman, D. R. N. . A mathematical model for the prediction of unsteady salinity intrusion in estuaries, MIT R. M. Parsons Lab. Report No. 144, 1972.
- 6) Odd, N. V. M. and Owen, M. W. : The simulation of mud transport in estuaries, UK Dept. of Environment, Water Pollution Research Tech. Rep. No. 13, pp. 148-154, 1973.

- 7) 上嶋英機, 藤原建紀, 早川典生: 感潮河川における物質輸送の機構について(第一報), 第22回海岸工学講演会論文集, pp.239-247, 1975.
- 8) Festa, J. F. and Hansen, D. V.: Turbidity maxima in partially mixed estuaries - a two-dimensional numerical model, *Estuarine and Coastal Marine Science*, vol.7, pp.347-359, 1978.
- 9) 岩佐, 井上, 田中: 河口感潮部の流れと拡散のシミュレーション, 京大防災研年報, No.25, B-2, pp.585-596, 1982.
- 10) 林泰造, 鶴巻有一郎, 大橋正和: 河川感潮部に流下した浮遊泥砂の濃度変化の実測と数値解析, 第27回水理講演会論文集, pp.323-334, 1983.
- 11) Uncles, R. J., Elliot, R. C. A. and Weston, S. A.: Dispersion of salt and suspended sediment in a partially mixed estuary, *Estuaries*, vol.8, no.3, pp.256-269, 1985.
- 12) 馬場洋二: 河川における底泥の流送と堆積に関する基礎的研究, 京都大学工学部学位論文, 151p., 1992.
- 13) 宗宮功, 津野洋: 河川水質管理モデル群の構築, 平成3, 4年度河川整備基金助成事業報告書, (財)河川環境管理財団, 1993.
- 14) 二渡了, 楠田哲也: 強混合河川感潮部における懸濁物質輸送のシミュレーション, 土木学会論文集, No.452, II-20, pp.61-70, 1992.
- 15) 二渡了, 楠田哲也, 大石京子: 強混合河川六角川感潮部における懸濁物質濃度の変動特性, 土木学会論文集, No.452, II-20, pp.71-79, 1992.
- 16) 二渡了, 大石京子, 古米弘明, 楠田哲也: 強混合河川感潮部における硝化脱窒過程に関する研究, 土木学会論文集, No.479, II-25, pp.101-110, 1992.
- 17) 楠田哲也(編): 自然の浄化機構の強化と制御, 242p. 技報堂, 1994.
- 18) 建設省関東地建荒川下流工事事務所: 平成6年度荒川下流部感潮域の水管理検討業務報告書, 1995.
- 19) 建設省関東地建荒川下流工事事務所: 平成7年度荒川下流部感潮域の水管理検討業務中間報告書, 1995.