

(7) 六角川感潮部における水質変動特性 (II)

CHARACTERISTICS OF WATER QUALITY IN THE RIVER ROKKAKU

二渡 了* 楠田哲也* 粟谷陽一* 古賀憲一** 古本勝弘***

Tohru FUTAWATARI*, Tetsuya KUSUDA*, Youichi AWAYA*,
Kenichi KOGA**, Katsuhiko FURUMOTO***

ABSTRACT; Field surveys were conducted to investigate the change of water quality with time and the mechanism of mass transport in the Tidal River Rokkaku, where water particles move toward up- and down- stream according to tidal action and turbidity maximum also moves in association with erosion and deposition of sediments. Relations between a cumulative water volume from the upward end of tidal reach to a point in downstream and salinity at the point are obtained. As a result, the salinity profile in the water volume is shown to be quasi-steadily fixed. Profiles of velocity and water qualities in a cross section of the river are very complicated due to topographical effect. The mass transport fluxes estimated from observed data in the center of the cross section have to be corrected to obtain the exact estimate of the mass transport fluxes through the cross section. The relationships between salinity and the concentrations of dissolved matters are similar to those between water volume and the concentrations of dissolved matters, because salinity is steadily distributed through the water volume.

KEYWORDS; Water quality, Estuary, Tidal river, Salinity, Suspended sediment, Mass transport.

1. はじめに

水域の富栄養化問題に関して、我が国では、河川、湖沼、及び沿岸海域について、水質環境基準をはじめとした環境保全に対する種々の方策がとられている。しかし、河口部に関しては、水質環境の改善並びに保全が求められているにもかかわらず、そこでの物理環境が複雑であり、諸現象の解明が十分になされていないために、河口部の水質汚濁問題に対する具体的な施策はほとんど行われていない。

本研究は、河川感潮部における水質変動現象及び物質輸送機構の解明を目的として、実河川を対象に現地調査を行い、その結果をもとに検討を加えたものである。本報では、①河川感潮部での水質変動現象の全体像の把握、②物質輸送機構の解明、③塩分と溶解態物質、SSと懸濁態物質の関連、の諸点について検討した。

本研究の対象とした六角川は、佐賀県白石平野を流れ、有明海湾奥部に注いでいる。現地観測は昭和58年11月より同60年8月までの間に計10回、13~15時間及び26時間連続観測を行った。対象河川、調査方法の詳細については前報^{1), 2)}を参照されたい。また、感潮部での水質の横断面内の分布特性を明らかにするために、昭和60年7月18~19日(大潮)、同年12月24日(中潮、等潮)の2回、六角橋地点(河口より11.2km)において、横断方向に鉛直方向の測線を5本設定して、13時間連続観測を行った。

* 九州大学工学部 Faculty of Engineering, Kyushu University

** 佐賀大学理工学部 Faculty of Science and Engineering, Saga University

***長崎大学工学部 Faculty of Engineering, Nagasaki University

2. 河川感潮部における水質変動現象

六角川感潮部では、水塊が潮汐によって上下流方向に移動している。また、SSは、高濃度塊を形成し、潮汐による水塊の移動に伴って、底泥の巻き上げ・沈降を繰り返しながら河道方向に移動している³⁾。

まず、感潮部における水塊の挙動について検討する。

Fig. 1 は、各調査日の水位観測結果より感潮部上流端から各地点までの累加水量を求め、この累加水量を満潮時及び干潮時について示したものである。感潮部では、満潮は全川でほぼ同時刻に生じるが、干潮は下流側より順次生じる。ここでは六角橋地点において干潮となったときを干潮時刻とした。この結果を見る限りでは、干潮時の累加水量はあまり変わらないが、満潮時のそれは潮相によって大きく異なっている。海域では満干潮の潮位は潮相によって変化するが、この観測結果において干潮時の累加水量に違いが見られないのは、上流部では河川固有流が現われるためであり、下流部では水位が十分に下がりきらないうちに上げ潮に反転したためと思われる。また、干潮時に11.2km付近にあった水塊は、大潮のときで10km、中・小潮のときには7km程度遡上している。

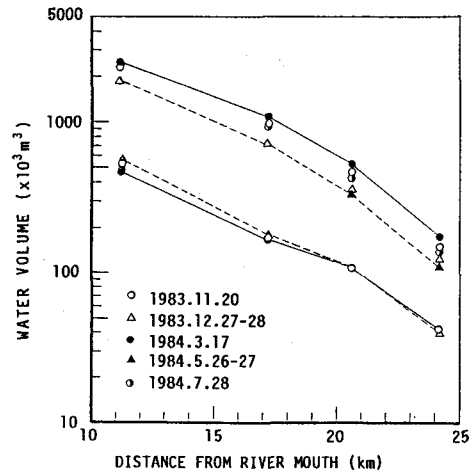


Fig. 1 WATER VOLUME

次に、水塊内の塩分濃度分布について考察する。塩分についての1次元の移流分散方程式は、横流入がないとすると、

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = 1/A \cdot \frac{\partial (A D_L \partial C / \partial x)}{\partial x} \quad (1)$$

ここに、C: 断面平均塩分濃度、U: 断面平均流速、A: 流水部の断面積、 D_L : 移流分散係数となる。ここで、累加水量 $V = \int^x A(x, t) dx$ を用いて、変数を x から V に変換すると、式(1)は、

$$\frac{\partial C}{\partial t} + Q_f \frac{\partial C}{\partial V} = \frac{\partial (A^2 D_L \partial C / \partial V)}{\partial V} \quad (2)$$

ここに、 Q_f : 河川固有流量

となり、 V が一定のところの塩分濃度が変化しない ($\partial C / \partial t|_V = 0$) のものとし、式(2)を積分すると次式が得られる。

$$dC/C = Q_f / A^2 D_L \cdot dV \quad (3)$$

ここで、簡単のために、 $A = \alpha^{1/2} V^{2/3}$ とおき、上式に代入して積分すると、

$$\ln C = -3 Q_f / \alpha D_L \cdot V^{-1/3} + C_1 \quad (4)$$

(C_1 は積分定数)

となる。Fig. 2 に $V^{-1/3}$ と塩分濃度との関係を、昭和58年11月のデータについて示す。両者の関係は片対数紙上でほぼ直線となっている。他の調査日のものでもこれらの関係はほぼ直線となり、このことより水塊の中での塩分の分布は準定常的に定まっていると考えられる。さらに、水塊内のある2点での塩分濃度、累加水量を C_1 、 V_1 及び C_2 、 V_2 とすると、式(3)より、

$$\frac{(C_1 - C_2) / \{(C_1 + C_2) / 2\}}{= Q_f / A^2 D_L \cdot (V_1 - V_2)} \quad (5)$$

ここに、 A は水塊中での塩分濃度が $(C_1 + C_2) / 2$

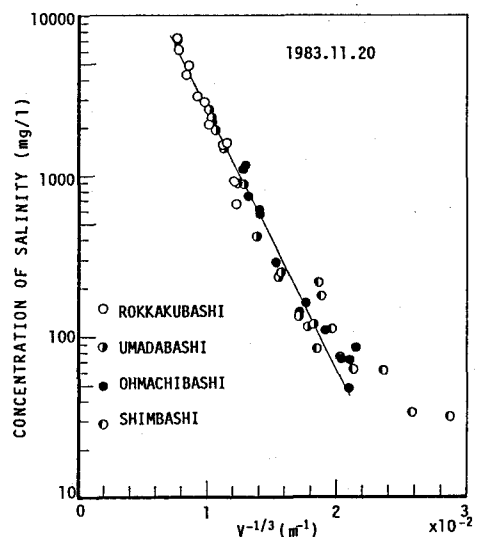


Fig. 2 RELATIONSHIP OF $V^{-1/3}$ AND SALINITY

となるところの値を用いる

とできる。いま、水塊内の2点として、満潮時の六角橋地点と新橋地点での値を用い、各調査日の全体的な移流分散係数を求めると、 $10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ のオーダーとなった。この値は、海域における値より1オーダー小さい⁴⁾。

一方、SS高濃度塊の挙動は、SSの沈降・巻き上げを伴うために、その潮汐による移動距離は水塊の移動距離より小さくなると考えられる。このことは、SS濃度の縦断分布の経時変化より確かめられる。SS濃度の時間変動には、底泥の巻き上げ・沈降によるものの他に移流による分も含まれており、年間に渡る変動特性を知るためには、SS濃度をそのまま比較することはできない。前報で示したように³⁾、2地点間におけるSS量を、両点のSS濃度及び横断面積より計算される実在量と、両点のSSフラックスより計算される次の時刻における存在量とに分け、これらを対比することによって、その2地点間で底泥の巻き上げ・沈降がどの程度生じているかを推測する方法も有効である。この巻き上げ・沈降量が長期的に変化するために、観測されるSS濃度が時期によって異なると考えられる。そこで、各調査日の下げ潮時において、各観測地点のSS濃度より求められるSS量が全川に渡って最高となったときの値を求めた。その結果を Table 1 に示す。これを見ると冬季が大きく、夏季が小さくなっている。このSS量を支配する要因としては、①潮位変動（大潮、小潮）、

②先行無降雨日数、③固

有流量、④水温、⑤底泥

化、等が考えられるが、

どの要因が支配的なのか

は今のところ不明である。

今後、流域における水利

用・排出量及び形態についての調査も必要である。

以上のように、水塊及びSS塊が河道方向に往復運動しているところに汚濁物質が流入しているときには、その水質変動は一層複雑となる。六角川感潮部では、主な汚濁源は22km付近と感潮部上流にあり、流入してきた汚濁物質は生物学的、化学的な変換作用を受け、定点観測によって得られる値はかなり変動のあるものとなる。したがって、Lagrange的な調査方法も有効かと思われる。

3. 水質の横断分布特性と物質収支に関する検討

河道に蛇行のある河川感潮部では、横断面内における各物質の濃度分布が時間的、空間的に変化する。従来行なわれている流心の観測値を用いて求められる各物質の輸送フラックスが適切かどうかといった問題が残されていた。そこで、水質の横断分布特性を明らかにするために、六角川感潮部六角橋地点（Fig. 3 参照）において連続観測を行ない、この結果をもとに物質収支に関して検討を加えた。

Fig. 4 に、満・干潮時及び上げ潮・下げ潮間の最大流速時の流速、塩分、SS濃度の分布を示す。なお、この調査日（昭和60年 7月18～19日）の停潮時間は、満潮 23:08、干潮 5:23 であった。

まず、流速は流心部で最大値を示し、下げ潮時には上げ潮時に比べ右岸側の流速が遅くなる傾向にあった。

塩分濃度は、上げ潮及び満潮時に下層の濃度が高くなっている。下げ潮時には全体的な濃度差は小さい。SS分布の時間的な変化はかなり複雑であり、全体的に左岸側が高く、上げ潮時には流心から右岸側でも高くなっている。したがって、一般に観測地点の上・下流で河道が湾曲しているところでは、流向の反転によって

Table 1 AMOUNT OF SUSPENDED SOLIDS

Date	1983.11.20	1983.12.27-28	1984.3.17	1984.5.26-27	1984.7.28
Tide	spring	neap	spring		spring
(Age of the moon)	(15.2)	(23.1)	(14.4)	(25.5)	(29.0)
Amount of Suspended Solids (t)	7636	7027	6068	616	1567

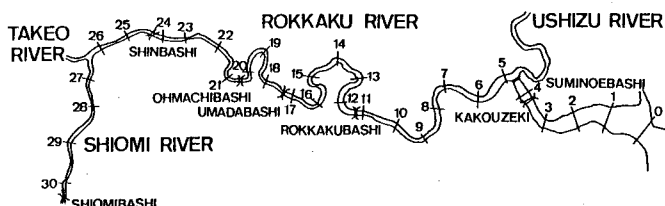


Fig. 3 MAP OF THE RIVER ROKKAKU

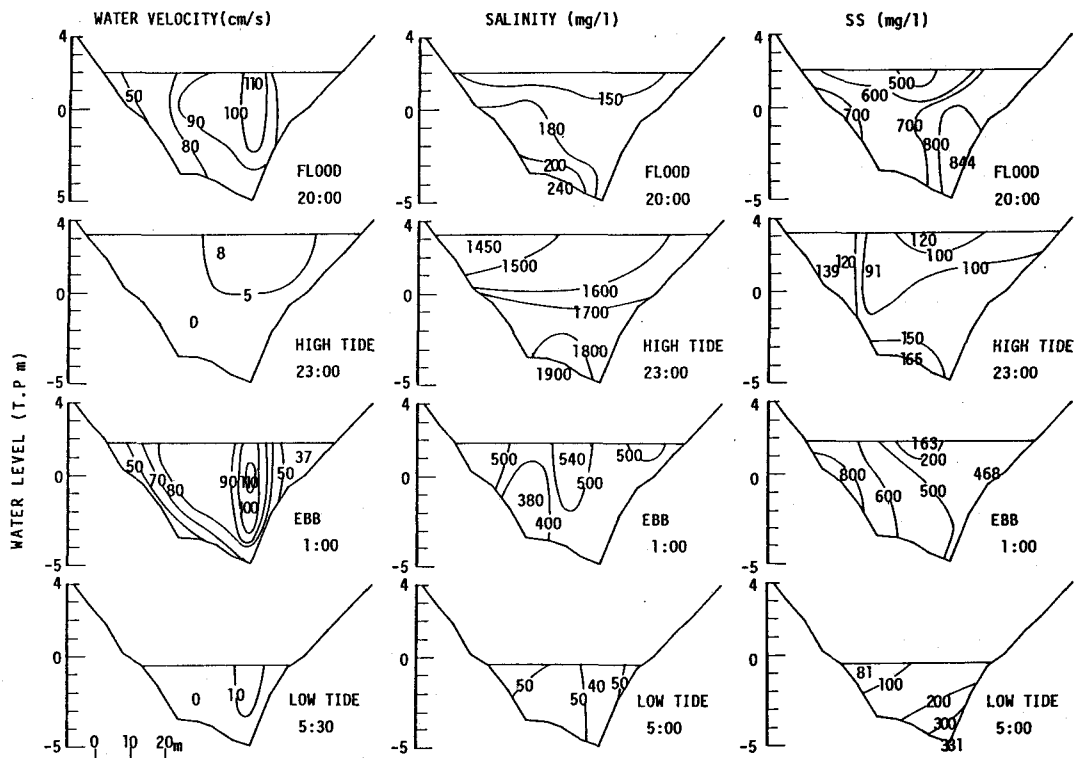
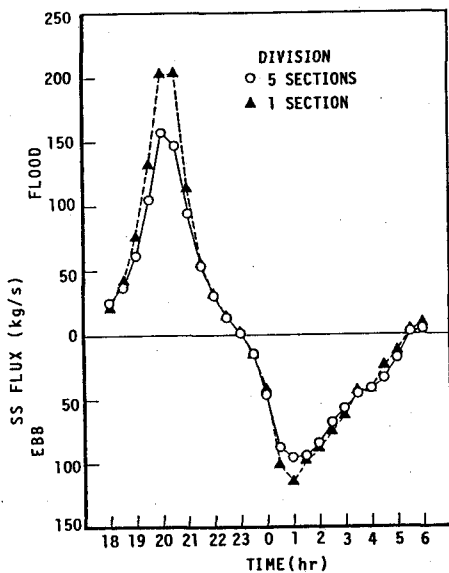
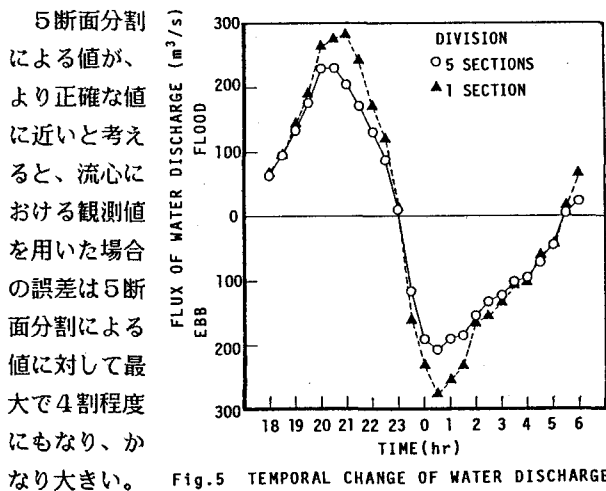


Fig.4 DISTRIBUTION OF VELOCITY, SALINITY AND SS IN A CROSS SECTION

断面内の分布特性も変化するといえる。

次に、各時刻における物質フラックスについて、断面を5断面に分割して求めたものと、流心における観測値を用いて求めたものとを比較する。Fig. 5は流量について、Fig. 6はSSについて示したものである。いずれにおいても、流速の大きいときに、両者の差が大きく、1断面としたときのものの方が大きくなっている。これは、流速が大きいときには流心での流速が河岸付近の流速に比べかなり大きいためである。SSフラックスに関しては、SS断面平均濃度が5断面分割によるものと1断面によるものとの違いがそれほどないことから、流速の違いによる影響の大きいことがいえる。



ただし、このような誤差は上げ潮、下げ潮についてそれぞれ含まれ、一潮汐間の合計としての輸送量では相殺され、各物質の輸送傾向については正しく示す場合もある。しかし、各物質の断面輸送フラックスを算定し、一潮汐間の合計として物質収支量を議論する際には、流心における観測値を用いて求めたものを修正する必要がある。今回の調査結果によれば、その修正係数としての、流心における観測値を用いて求めた値に対する断面分割による値の比は、流量では0.69~1.17 (平均0.86)、SSフラックスでは0.67~1.41 (平均0.94) であった。

4. 塩分と溶存態物質、SSと懸濁態物質の関連

一観測地点における塩分の濃度変化は水塊の移動に伴って生じている。したがって、各地点毎に見た塩分と溶存態物質（ここでは、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、D-COD、DOC）の濃度相関を重ね合わせることができる。Fig. 7、8、9は、塩分と各無機態窒素との関係を昭和58年12月の観測時について示したものである。それらのピークは塩分濃度が1g/l 前後のところに現れ、この上流に汚染源のあることが分かる。また、塩分濃度が高くなるに従い、それらの濃度が低くなっているのは、下流側で海水との混合・希釈が行なわれているためである。また、昭和59年3月のものでは、塩分濃度が高いところでもあまり $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は低くなっておらず、この日の観測が降雨後間もなくであったために、海水による希釈がまだ十分おこなわれていないためと思われる。これらの関係は、塩分と累加水量の関係が一義的であるために、前報で示したように横軸に累加水量をとったときのものと同じである。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は $\text{NO}_3\text{-N}$ とほぼ同様の傾向を示す。

しかし、同じ溶存態物質であるD-COD、DOCでは、下流側でそれらの濃度は低くなっておらず、窒素やリンとは汚染の状況が異なると考えられる。

各溶存態物質の濃度の季節的な変化では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の最大値は夏季の方が低く、これは、全体的なSS濃度が低く、SSに付着する生物量は少くなっていると考えられるにもかかわらず、水温の上昇によって生物活性が増大したため、このような結果になったと思われる。D-CODでは、冬季がやや高い程度で季節的な違いはないが、DOCでは夏季の方が低く、冬季の1/6~1/5程度である。

SSと懸濁態物質との濃度相関については、前報でも示したように、Phaeo-pig.、P-COD、SS濃度が高いとき(冬季)のTN、濃度が高いときのPPなどがSSとの濃度相関が高い。

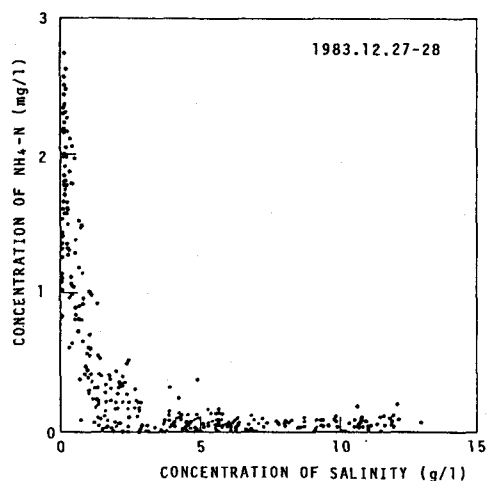


Fig.7 CORRELATION BETWEEN SALINITY AND $\text{NH}_4\text{-N}$

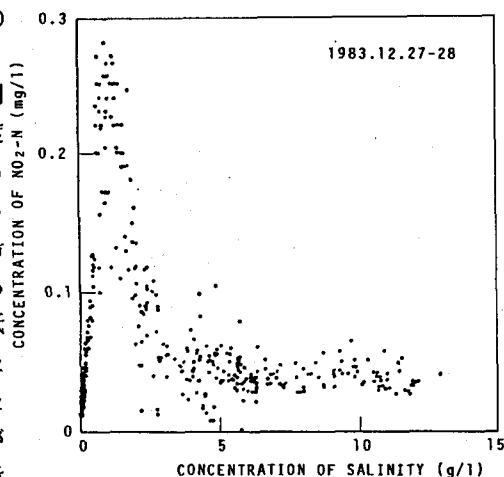


Fig.8 CORRELATION BETWEEN SALINITY AND $\text{NO}_2\text{-N}$

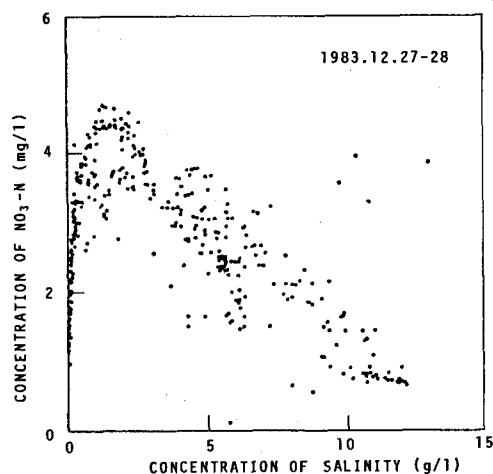


Fig.9 CORRELATION BETWEEN SALINITY AND $\text{NO}_3\text{-N}$

P-COD/SSの値は、冬季が低く、夏季が高くなる傾向にあったが、これはP-COD の値の季節的な変化が小さく、一方で、SS濃度が冬季が高く、夏季が低いためにこのような結果になったものと考えられる。

5. おわりに

本研究では、六角川感潮部を対象に、河川感潮部における水質変動現象及び物質輸送機構を解明するために検討してきた。ここで得られた結果について要約すると次のようになる。

- 1) 水塊内の塩分濃度分布は準定常的に定まっている。
- 2) 水質の横断面内の分布特性は、河道の地形的な影響を受けて複雑である。
- 3) 流心における観測値を用いて求めた断面輸送フラックスは、流速が大きく得られるために、実際に輸送される量に比べ大きくなる。
- 4) 塩分と溶存態物質との関係は、各無機態窒素及び $PO_4\text{-P}$ とD-COD、DOCとで異なる。

最後に、本研究は財団法人日本生命財団、並びに文部省科学研究費総合研究(A) (代表 栗谷陽一) の援助のもとに行なわれたものであることを記し、感謝の意を表します。また、研究遂行にあたり、ご協力下さいました関係各位にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 楠田他；六角川感潮部における水質変動特性、土木学会年次学術講演会講演概要集、pp.713～714、1984.10。
- 2) 二渡他；同 上(Ⅱ)、土木学会年次学術講演会講演概要集、pp.821～822、1985.9。
- 3) 二渡他；六角川感潮部における水質変動特性、土木学会第13回環境問題シンポジウム講演論文集、pp.38～43、1985.8。
- 4) 松川康夫；汚濁物質の分散過程、日本水産学会編、水域の自浄作用と浄化、pp.11～21、1979.10。