

(7) 六角川感潮部における水質変動特性

CHARACTERISTICS OF WATER QUALITIES IN THE TIDAL 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**, Katsuhiro FURUMOTO***

ABSTRACT: This study was performed in order to investigate the mechanism of suspended sediment transport and the water quality behaviour in the tidal river. Field observations were carried out at several times in the River Rokkaku which shows strong mixing of salinity. The following results were obtained: 1) A turbidity maximum moved toward up- and down-stream with erosion and deposition of suspended sediment according to tidal action; 2) Suspended solids affect the water quality. Phaeo-pig. and COD have a relationship to suspended solids through the year; and 3) Suspended matter have a tendency to be transported upstream during one tidal cycle.

KEYWORDS: Water quality; Tidal river; Suspended solids; Field observation.

1. まえがき

河川感潮部での汚染物質による水質・底質の悪化の問題は、流れが潮汐・河川固有流の作用を受けて複雑であることから、未解明の部分が多い。感潮部における懸濁粒子の挙動は、Turbidity Maximum の形成と関連して研究されているが、懸濁粒子と各種汚染物質との関係について検討した上で、各種水質の変動特性について考察した例は少ない。本研究で対象とした六角川は、SS濃度が高く、そこでの水質もSSの影響を受けていると考えられている。本研究は、数回の現地観測を行い、その観測資料をもとに、1)感潮部における水質の空間的・時間的な変動特性の把握、2)各水質項目間の関連からの汚濁機構および物質変換過程についての検討、3)物質収支計算による汚濁物質の集積機構の解明、を試みたものである。

2. 観測・解析方法

2.1 対象河川

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に注いでいる。本川は強混合河川であり、潮位差は、2~5mとかなり大きい。感潮区間は河口より29km付近までであり、20kmより上流では、干潮時に河川固有流がみられる。感潮部は有明粘土により広く覆われている。流域の人口密度は低く、主な汚濁物質の排出源として屎尿処理場、ブロイラー処理工場等がある。

*九州大学工学部 Faculty of Engineering, Kyushu Uni. **佐賀大学理工学部 Faculty of Science and Engineering, Saga Uni. ***長崎大学工学部 Faculty of Engineering, Nagasaki Uni.

2. 2 観測・分析方法

観測は、昭和58年11月より昭和60年 5月までに計 9回に渡り行っており、前 5回は河口から24.2km地点より下流側で、後 4回は、同地点より上流側で行われた。本論文では前 5回の観測について述べる。

Table 1 CONDITIONS ON THE INVESTIGATIONS

No	1st	2nd	3rd	4th	5th
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
Difference in the water level at Miike Harbour(cm)	411	261	491	275	497
Water temperature (°C averaged value)	12	5	8	22	30
Preceding dry days(d)	24	5	1	10	16

観測地点は、河口から 5km、11.2km（六角橋）、17.2km（馬田橋）、20.6km（大町橋）、24.2km（新橋）の5地点とし、満潮から次の満潮までの13～15時間連続観測を行った。各観測日の概要を Table 1 に示す。

水質分析項目は、SS、 Cl^- 、Chl-a、Phaeo-pig.、TN、DN、 NH_4-N 、 NO_2-N 、 NO_3-N 、TP、DP、 PO_4-P 、COD、D-COD、TOC、DOC、DO、 BOD_5 の18項目である。水質分析は、JIS、下水道試験法、および海洋観測指針によった。

2. 2 解析方法

本研究では、現地観測によって得られた資料をもとに、各水質項目間の相関、および物質収支について検討した。まず、各観測日各地点ごとに平均濃度、分散、および水質項目間の相関係数を求めた。観測時に観測地点の横断面形状を各々測定し、水位に対する断面積を求めた。物質収支計算において、観測水深に応じて断面を水平に分割して、流量および各物質の断面通過量を求めた。

3. 結果と考察

3. 1 水質変動特性

潮差は、5.0km地点では、大潮時で4.3m、小潮時で2.9mであった。流速の最大値は1.2m/sを示した。 Cl^- 濃度の鉛直分布は認められず、強混合状態である。その平均的な濃度は、大潮の満潮時に 5.0km地点で13.0～15.0g/l、24.2km地点で0.2g/l、干潮時にはそれぞれ3.0～5.0g/l、0.04g/lとなり、小潮時でもほぼ同じ値を示した。 Cl^- 濃度の流れ方向の分布は、指数関数型である。一方、SS濃度分布を縦断方向に見た場合には、SSは一つの浮泥塊を形成し、潮汐により上・下流方向に移動しながら底泥の巻き上げ・沈降を繰り返している¹⁾。

Fig. 1、2 に六角橋地点、大町橋地点での断面平均SS濃度の経時変化を示す。六角橋地点で干潮時に比べ満潮時の濃度が低いのは、満潮時の停潮時間が干潮時に比べ長いため、SSの沈降が大きくなることによるものと考えられる。一方、六角橋より上流側に位置する大町橋では、満潮時の停潮時間はそれほど長くない、SSの沈降はあまり起こっていない。大町橋地点では、濃度が下げ潮前半でピークに達した後減少しているが、これはその付近での底泥の巻き上げが終了したためと思われる。しかし、断面平均SS濃度の時間変化、すなわち、SSの挙動には底泥の巻き上げ・沈降の他に移流による分も

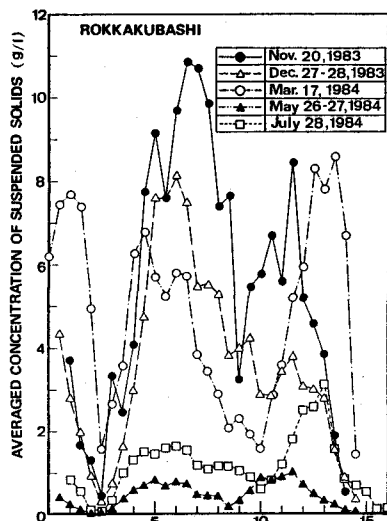


Fig. 1 TEMPORAL CHANGE OF SUSPENDED SOLIDS CONCENTRATION (11.2km)

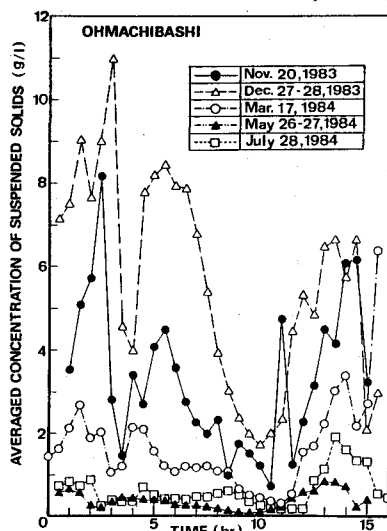


Fig. 2 TEMPORAL CHANGE OF SUSPENDED SOLIDS CONCENTRATION (20.6km)

含まれるため、Fig.1、2だけで底泥の巻き上げ・沈降量を検討するのは困難である。そこで、物質収支から2地点間におけるSS存在量の巻き上げ・沈降による変化を求め、その結果をFig. 3、4に示した。図中の実線は各時刻における区間内SS量を示し、破線は前時刻の実存在量を起点として、区間内への入出量より算定した次の時刻のSS量の推定値を表わしている。両者の差が区間内における各時間間隔内での底泥の巻き上げ量あるいは沈降量を示している。Fig.3は六角橋～馬田橋地点間(11.2km～17.2km)、Fig.4は大町橋～新橋地点間(20.6km～24.2km)のものである。Fig.3では、満潮(9:30)後11:30頃までSSは沈降しており、その後、底泥が巻き上げられSS存在量も増加している。干潮時(17:00)の沈降量は満潮時に比べ小さい。上げ潮では、底泥の巻き上げはあまり起こっておらず、Fig.1で示されているSS濃度の増加は移流によるものと考えられる。Fig.4でも同様のことがいえるが、下げ潮途中の13:30頃で底泥の巻き上げは終了し、その後、干潮時(19:00)まで底泥の巻き上げ・沈降は起こっていない。以上のように、感潮部におけるSSは、潮汐による水塊の移動に伴ない、底泥の巻き上げ・沈降を繰り返しながら輸送されている。ここでの底泥の巻き上げ・沈降特性は、底泥の堆積特性(堆積量、底泥の凝集性等)および掃流特性(掃流力およびその時間的変動等)に強く影響を受けるため、懸濁物質の挙動は時間的、空間的に異なる。なお、SSの遡上・流下現象については後述する。

さらに、Fig.1、2において、観測日別に全体的なSS濃度の時間変化を見ると11、12月が高く、5、7月が低くなっている。河道内に存在するSS量の支配条件としては種々の要因が考えられるが、主な要因としては降雨が考えられる。また、水温および塩分濃度も底泥や懸濁粒子の凝集性に影響を与える。感潮部では周期的に水位、流速が変化するため、SS濃度の長期的、季節的な変化傾向をとらえるには、半日周期のSS濃度変動を考慮した上で調査計画をたてなければならない。

河川感潮部における水質(汚濁物質)は、潮汐流による輸送を始めとして、流入負荷、反応、拡散、沈降等による影響を受けるので、一般には水塊の移動に伴う水質変動パターンにはずれが生じる。したがって、感潮部での水質の輸送・変換過程を的確に把握するには、流下距離を基準とした座標のみでの取り扱いでは不十分な場合が多い。このような場合には、感潮部上流端のような基準点からある地点までの累加水量(貯水量)とその地点での濃度との座標系で表わすのが有効である。一例として、12月の累加水量と各態窒素との関係をFig.5に示す。各態窒素の濃度は累加水量の増加と共に増加し、各々ある累加水量のところで最大値を示し、その後減少している。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が最大値を示す付近に汚濁源があるものと思われる。また、各態窒素は、硝化作用により $\text{NH}_4\text{-N}$ - $\text{NO}_2\text{-N}$ - $\text{NO}_3\text{-N}$ へと移

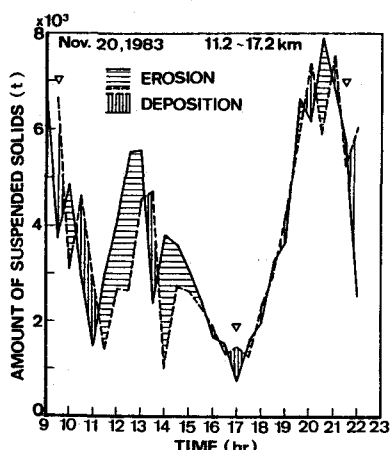


Fig.3 AMOUNT OF SUSPENDED SOLIDS (11.2-17.2km)

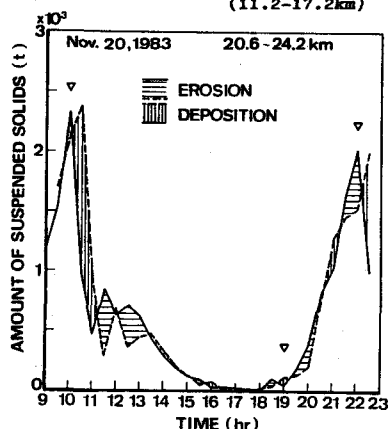


Fig.4 AMOUNT OF SUSPENDED SOLIDS (20.6-24.2km)

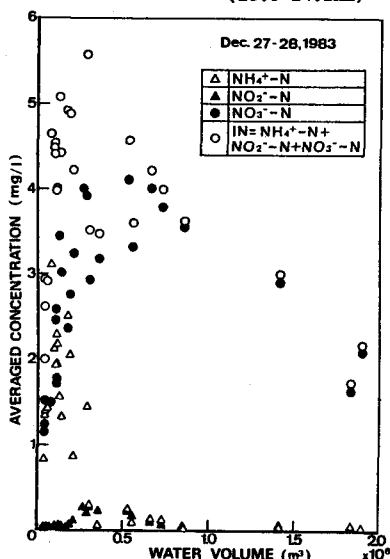


Fig.5 RELATIONSHIP OF WATER VOLUME AND CONCENTRATION OF NITROGEN (Dec. 27-28, 1983)

行するが、硝化反応の速度定数と固有流の影響によって、各態窒素の最大濃度の現れる位置がずれていることが分かる。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の累加水量の増加に伴う減少は、海水による希釈効果によるものである。

3.2 水質相関

六角川感潮部では、SS濃度が高く、水質がSSの影響を大きく受けていると考えられる¹⁾。そこで、SSと各水質項目間の相関関係を求め、水質の河道方向への変化、季節変化、SSとの濃度比等について検討する。

Chl-aとSSとの相関は12月、3月が高く、他の月ではあまり認められなかった。Fig.6に12月の、Fig.7に7月の六角橋地点におけるSSとChl-aの関係を示す。12月ではSS濃度が高かったにもかかわらずChl-aの濃度は低く、Chl-a/SSの値は小さくなっている。これは、水温が低いため植物プランクトンの発生量が少なく、海からの供給による影響だけになるためと考えられる。一方、Fig.7に示されているように、夏から秋にかけては、SS低濃度に対してChl-a濃度の高い部分が存在し、この部分が植物プランクトンの発生を示しているものと思われるが、このため全体的な相関も低くなっている。全体的には、 $\text{Chl-a}/\text{SS}=0.00001\sim0.0001$ であり、季節的、場所的なChl-a/SSの値の変化傾向はいまのところ明らかでない。

Phaeo-pig.はつねにSSとの相関が大である。各観測日における河道方向への変化は小さく、 $\text{Phaeo-pig.}/\text{SS}=0.00003\sim0.00013$ となっている。

窒素では、12月や3月のようにSS濃度が高いときには相関が高いが、SS低濃度のときには、TNのほとんどが溶存性のものからなり、SSとPNの相関は得られなかった。

リンは、TPに比べDPの値がかなり小さく大半がPPとして存在する。3月、5月、7月の相関が高く、TPあるいはPPの濃度レベルが高い場合には、SS濃度の高低によらずPPとSSとの相関が高くなっている。 $\text{PP}/\text{SS}=0.0005\sim0.002$ である。

12月、7月の六角橋地点および新橋地点のSSとPCODとの関係をFig.8、9に示す。バラツキはあるものの、PCODは他の項目に比べてもつねにSSとの相関が高くなっている。これらの図よりPCOD/SSの値を求め、その値を地点別に示したのがFig.10である。各観測日での河道方向への変化を見ると20.6km地点が高くなる傾向にあり、負荷源の存在が考えられる。また、PCOD/SSの値は冬季が低く、夏季が高くなる傾向をしめす。

3.3 物質収支

各観測地点において一潮汐間に断面を通過した物質量は、各時

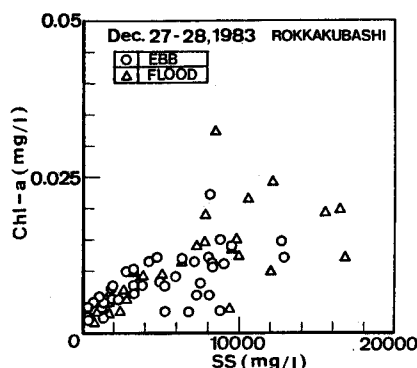


Fig. 6 CORRELATION BETWEEN SS AND Chl-a (Dec. 27-28, 1983 11.2km)

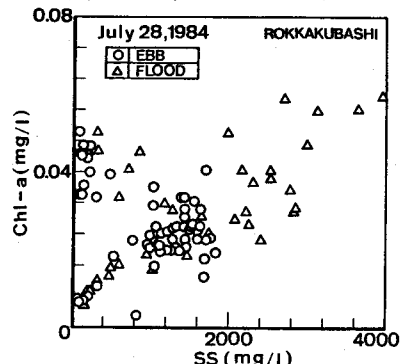


Fig. 7 CORRELATION BETWEEN SS AND Chl-a (July 28, 1984 11.2km)

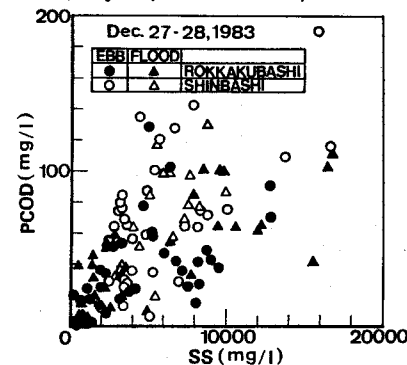


Fig. 8 CORRELATION BETWEEN SS AND PCOD (Dec. 27-28, 1983)

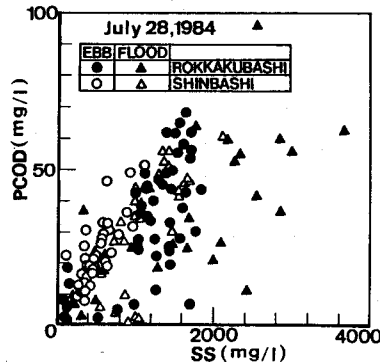


Fig. 9 CORRELATION BETWEEN SS AND PCOD (July 28, 1984)

刻の流速、濃度、分割断面積の積の和として得られる時間当りの断面通過量より求められる。このようにして求めた11月、3月、7月の物質収支計算結果をTable 2 に示す。下げ潮および上げ潮時のそれぞれの通過量の差が物質の流下あるいは遡上を示すことになる。しかし、一般にその差が零となるべきである流量も異なっており、これは、主に日潮不等によって満潮と次の満潮との水位が等しくならないためである。このような条件で得られた資料をもとに、物質収支を検討するのは難しいが、基準とする物質（水量、SS量、塩分量等）に対して、反対の動きを示すものについてはその基準に対して流下あるいは遡上していると考えられる。例えば、11月の六角橋地点では、SSは流下している

がTNは遡上しており、SSに対してTNは遡上すると考えられる。また、基準とする物質と同じ動きをしている場合でも、下げ潮あるいは上げ潮間に輸送される量に対する流下・遡上する物質の割合を比較することにより、同様のことがいえる。つまり、7月の六角橋地点について見ると、流量とSS量は一潮汐間では共に遡上となっているが、上げ

潮時に輸送される量に対する遡上量をとると、流量 $105.7/2366.6=0.045$ 、SS量 $1708/4354=0.392$ となり、流量に対してSSは遡上傾向にあることが分かる。このようにしてTable 2 を見るとかなりの物質が遡上傾向にある。

4. あとがき

本研究では、六角川感潮部を対象に現地観測を行い、そこでの水質変動特性について検討してきたが、ここで得られた結果を要約すると以下のようになる。

1) 感潮部におけるSSは、潮汐による水塊の移動に伴い、底泥の巻き上げ・沈降を繰り返しながら上・下流方向に輸送されている。

2) 感潮部での物質の輸送・変換特性を知るに

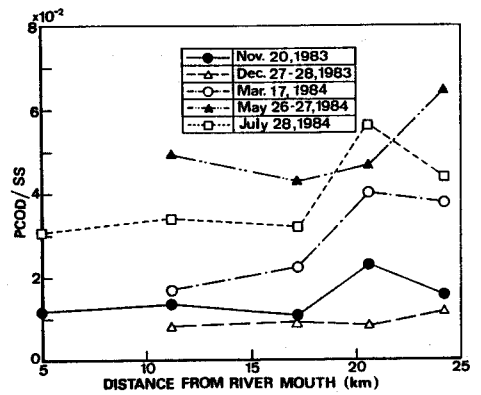


Fig.10 LONGITUDINAL CHANGE OF PCOD/SS

Table 2 MASS BALANCE

		Q($\times 10^3 \text{ m}^3$)	SS(t)	Cl(t)	TN(t)	TP(t)	COD(t)	TOC(t)
1983.11.20								
Rokkakubashi (11.2km)	Ebb	2438.8	14692	8520	62.47	1.0836	268.7	161.2
	Flood	2459.9	12812	10455	88.02	0.9712	200.7	139.3
	Sum	-21.1	1880	-1935	-25.55	0.1124	68.0	21.9
Umadabashi (17.2km)	Ebb	1086.6	5230	1025	44.48	0.6111	83.1	106.2
	Flood	982.7	6490	1089	34.34	0.7080	79.2	87.5
	Sum	103.9	-1260	-64	10.14	-0.0969	3.9	18.7
Ohmachibashi (20.6km)	Ebb	745.9	3828	363	23.16	0.6479	62.3	31.7
	Flood	568.5	4298	341	18.59	0.4083	48.9	31.8
	Sum	177.4	-470	21	4.57	0.2397	13.4	-0.1
Shinbashi (24.2km)	Ebb	340.8	521	35	7.70	0.4501	11.5	13.9
	Flood	278.4	786	38	7.16	0.4980	14.8	15.9
	Sum	62.4	-265	-3	0.54	-0.0479	-3.3	-2.0
1984.3.17								
Rokkakubashi (11.2km)	Ebb	2560.6	11880	4420	11.232	5.4552	265.7	234.1
	Flood	2114.1	13142	4371	22.328	5.3014	244.0	432.8
	Sum	446.5	-1262	49	-11.096	0.1538	21.7	-198.7
Umadabashi (17.2km)	Ebb	1520.1	3772	373	--	2.3691	111.6	--
	Flood	1405.4	4650	314	--	2.6806	121.0	--
	Sum	114.7	-878	59	--	-0.3115	-9.4	--
Ohmachibashi (20.6km)	Ebb	786.2	1127	55	4.873	0.9827	59.9	50.1
	Flood	685.3	1680	64	4.481	1.1861	65.8	75.5
	Sum	100.9	-553	-9	0.392	-0.2034	-5.9	-25.4
Shinbashi (24.2km)	Ebb	363.2	411	15	1.879	0.4913	22.7	24.9
	Flood	338.7	732	15	2.395	0.6652	29.9	28.3
	Sum	24.5	-321	0	-0.516	-0.1739	-7.2	-3.4
1984.7.28								
Rokkakubashi (11.2km)	Ebb	2260.9	2646	5167	4.810	2.3399	122.3	23.8
	Flood	2366.6	4354	8436	5.003	2.1634	154.9	26.1
	Sum	-105.7	-1708	-3269	-0.193	0.1765	-32.6	-2.3
Umadabashi (17.2km)	Ebb	1556.0	1216	597	3.744	1.4288	57.6	14.9
	Flood	1703.5	2297	1057	6.190	2.1990	82.3	27.1
	Sum	-147.5	-1081	-460	-2.446	-0.7702	-24.7	-12.2
Ohmachibashi (20.6km)	Ebb	823.1	374	111	1.066	0.5659	28.8	4.9
	Flood	819.1	1092	176	1.358	0.9556	47.9	8.8
	Sum	3.0	-718	-65	-0.292	-0.7702	-19.1	-3.9
Shinbashi (24.2km)	Ebb	377.5	167	18	1.019	0.2566	13.8	3.3
	Flood	528.6	765	40	1.432	0.7645	67.7	6.0
	Sum	-151.1	-598	-22	-0.413	-0.5079	-53.9	-2.7

は累加水量座標系を用いた手法が有効である。

3) SSと懸濁性物質の水質との相関関係は、一部については季節的に異なる場合もあるが、大半については、それらの関連性が強いことを確認した。

4) 実測による物質収支計算結果によると、水量を基準にして多くの物質が遡上傾向にある。

六角川感潮部での水質は、SSの影響を受けているが、各水質項目とSSとの関係には、物理的・化学的・生物学的な相互関係もあり、それらの現象を明らかにした上でなければ、全体的な水質変動現象を十分に説明することはできない。また、物質の遡上現象を解明するには、現地観測だけでなく、数値シミュレーションも有効な手段であり、今後、本報で得られた成果をもとにその方面からの検討も進めたい。

最後に、本研究を遂行するにあたり、御援助下さいました日本生命財団、種々便宜を計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、観測・分析に協力下さった研究室の諸君に感謝致します。

参考文献

1) 楠田ら；六角川感潮部における水質変動特性、土木学会年次講演会講演概要集、1984, 10, pp.713-714.