

小流量都市河川の流況・水質特性 — 新井田川における現地調査 —
Field Observation of Flow Structure and Water Pollution in Niida River

八戸工業大学 西田 修三 Shuzo NISHIDA
NTT (株) 日山 良裕 Yoshihiro HIYAMA

The water pollution in the Niida river, through the Hachinohe city, has been gradually proceeding, because inflows of sewage from factories and houses is much large in spite of that the river discharge is very small. We have made the field observation of flow structure and water pollution in the Niida river. Results show that the water qualities in the tidal portion, about 6km from river mouth, are terribly bad though in the other region are good. By the analysis of flow structure, it was found that the flow fluctuation, caused by the fluctuation of water level with period of about 30 to 40 minutes, has an important role for the diffusion of sewage in the tidal portion.

Keywords : water pollution, estuary, tidal river

1. はじめに

近年、都市部を流れる河川の再生が叫ばれ続け、環境規制や下水道施設の普及により、水質汚濁は年々良化の傾向にある。しかしながら、小流量河川や河岸に多くの工場を抱える河川、さらには、下水終末処理施設が河岸に位置する河川においては、河川の自浄能力を超える汚水や多量の処理水の流入があり、未だ環境基準を達成するに至らない河川も少なくない。八戸市を流れる新井田川も汚濁の進行した典型的な都市河川であり、水環境の改善が強く望まれている^{(1)・(2)}。新井田川は、河口部における平水流量が $10\text{ m}^3/\text{s}$ 程度の小流量河川でありながら、河川流量の10%に相当する約 $1\text{ m}^3/\text{s}$ の工場および生活排水が、河口部約4km区間において集中的に流入している⁽³⁾。長年にわたる行政努力にも拘らず、下水道施設の普及の立ち遅れも原因し、水質の環境基準達成には至っていないのが現状である。河川の拡散・自浄能力はその流れ構造と大きく関係しており、汚濁機構の解明さらに汚濁の解消には、その河川の水理特性を十分に理解する必要がある。しかしながら、新井田川の水理特性に関する調査・研究は少なく、県公害センターと八戸市が実施した二度の調査^{(3)・(4)}を数える程度であり、水理特性を十分に把握するには至っていない。

そこで、筆者らは新井田川の汚濁機構の解明の第一歩として、過去3年間にわたり流況・水質の野外調査を実施してきた。本報では、現地調査により得られた流況・水質の現況を報告するとともに、その水理特性および水質汚濁機構について考察する。

2. 調査概要

新井田川は、岩手県北部にその源を発する流域面積 582 km^2 、流路延長 83 km の二級河川であり、青森県八戸市を流れ太平洋に注いでいる。河口部には、一級河川馬淵川の旧河道（現在、工業港として利用）を抱えており、水質悪化の一因ともなっている。河口より上流6km区間が潮汐に起因した水位変動が認められる感潮域である。そのため、全流域にわたる流量・水質調査を実施するとともに（図-1）、調査範囲を感潮域に絞った集中調査を実施した（図-2）。なお、両調査における、観測点Pt.0、Pt.1、Pt.2は、それぞれSt.1、St.5、St.4と同一の地点である。

流域調査は1988年11月4日と12月7日に実施し、その時の下流部（St.4とSt.5の合計）の流量はそれぞれ $5.5\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $8.8\text{ m}^3/\text{s}$ であった。Pt.0～Pt.17において、流量およびpH、DO、水温の観測を行うとともに、表層水の採取を行い、室内にて健康項目その他についての水質分析を行っ

た。

河口部感潮域 St. 1～St. 5 において、流況・水質の 1 潮汐集中観測（1 時間毎の定時観測）を 1986 年 9 月 19 日と 1987 年 10 月 21 日に実施、その時の St. 4 と St. 5 における流量の合計はそれぞれ $11.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $7.9 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。各観測点の流心において、水深方向に 50 cm 間隔に流速・流向の測定を行うとともに、水温と塩分の測定も併せて行った。さらに、横断方向の流速分布状況を知るために、上げ潮時と下げ潮時には左岸寄りと右岸寄りに観測点を設け、横断方向に計 3 地点において観測を行った。また、水質調査項目のうち pH・DO は現場にて測定し、BOD・COD・SS・Cl⁻ については、採水し室内分析によって算定した。採水方法は、St. 1～St. 3 では、採水器により 2 時間毎に上層水（水面から 0.5 m）および下層水（河床から 0.5 m）の採取を行い、St. 4、St. 5 においては、流入河川水の水質を把握するために、干潮時と満潮時の 2 回、表層水の採水を行った。また、水位の長期間連続観測、ヘドロ堆積調査、浅深・水準測量等の作業も、集中観測に前後して行った。さらに、1989 年 1 月 17 日には St. 2 において水位と水質（塩分、pH、DO）の 24 時間連続観測と 1 時間毎の採水を行った。採取された水は流域調査の時と同様、各項目に関し室内分析を行った。

3. 調査結果および解析

3-1 流域調査

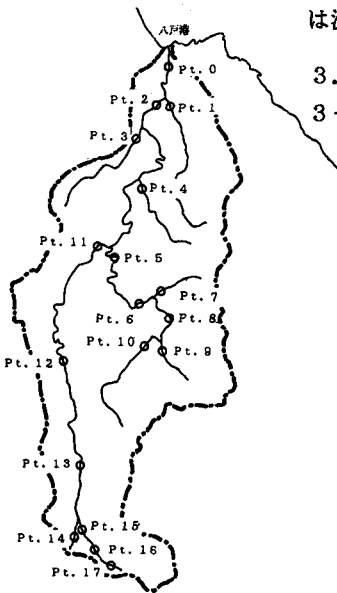


図-1 新井田川流域調査の観測点

観測番号	Pt. 0	Pt. 1	Pt. 2	Pt. 3	Pt. 4	Pt. 5	Pt. 6	Pt. 7	Pt. 8
河川名	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川
観測時刻	15:30	16:00	15:30	15:30	16:00	16:30	16:30	16:30	16:30
天候	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
気温 (°C)	11.0	10.8	10.6	9.5	10.2	9.9	9.4	9.2	10.4
水温 (°C)	4.9	7.2	4.9	6.8	6.4	3.5	4.2	4.7	5.2
流速 (m/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
平均流速 (m/s)		0.08	0.34	0.61	0.38	1.32	1.45	0.40	
流量 (m³/s)		1.08	23.01	0.08	0.32	3.81	5.04	1.81	
塩分 (g/kg)		1.0	7.81	0.42	0.19	0.02	0.07	0.76	
pH (-)	6.76	7.18	6.88	7.04	7.16	6.55	6.79	6.82	6.78
DO (mg/l)	12.2	13.0	12.9	13.4	13.3	13.9	14.9	13.7	14.6
ORP (mV)	22	54	39	46	55	21	39	36	34
SS (mg/l)	8.3	2.8	3.8	18.9	3.7	8.1	8.8	1.3	3.2
大腸菌群数 (cfu/100)									
DOC (mg/l)	2.1	1.6	1.8	1.5	1.0	1.6	1.6	0.5	1.2
TOC (mg/l)	3.1	1.7	2.0	1.8	1.0	1.6	1.6	0.5	1.2
溶解性イオン (mg/l)	210	10.3	13.8	22.8	0.38	0.33	7.02	3.46	6.78
硝酸根性窒素 (mg/l)	0.023	0.021	0.027	0.023	0.019	0.028	0.023	0.016	0.027
硝酸性窒素 (mg/l)	0.022	0.026	0.028	1.326	0.547	0.833	0.480	0.239	0.610
アンモニア性窒素 (mg/l)									
カルシウム (mg/l)									
マグネシウム (mg/l)									
硫酸根性窒素 (mg/l)									
リン酸根性窒素 (mg/l)									
リン酸根性窒素 (mg/l)									
COD (mg/l)									

観測番号	Pt. 9	Pt. 10	Pt. 11	Pt. 12	Pt. 13	Pt. 14	Pt. 15	Pt. 16	Pt. 17
河川名	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川	新井田川
観測時刻	10:47	11:10	11:08	11:08	11:40	12:20	12:20	12:20	11:40
天候	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
気温 (°C)	11.7	10.4	8.4	8.4	8.9	7.6	7.8	7.9	6.8
水温 (°C)	6.2	6.1	5.5	5.5	5.2	5.5	5.6	5.6	4.6
流速 (m/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
平均流速 (m/s)	0.76	0.76	0.75	0.47	0.81	0.84	0.34	0.34	0.07
流量 (m³/s)	0.34	1.06	0.31	0.35	3.38	0.46	0.41		0.25
塩分 (g/kg)	0.19	0.06	3.16	2.46	3.15	0.11	1.74		0.16
pH (-)	6.82	6.84	6.81	6.79	6.88	6.46	6.87	6.42	6.84
DO (mg/l)	13.8	13.8	14.1	13.0	13.8	12.8	13.7	8.7	12.8
ORP (mV)	24	25	15	34	37	15	22	13	25
SS (mg/l)	3.7	2.9	4.8	16.2	8.7	4.0	2.3	3.8	3.9
大腸菌群数 (cfu/100)									
DOC (mg/l)	1.8	0.8	1.3	1.3	1.4	0.7	1.5	1.2	0.8
TOC (mg/l)	1.8	0.8	1.3	1.6	2.4	0.9	1.7	1.3	0.8
溶解性イオン (mg/l)	6.08	8.02	11.3	8.31	8.23	4.24	3.13	3.00	1.47
硝酸根性窒素 (mg/l)	0.027	0.022	0.027	0.022	0.028	0.019	0.021	0.022	0.020
硝酸性窒素 (mg/l)	0.417	0.601	0.708	0.627	0.620	0.970	0.287	0.171	0.130
アンモニア性窒素 (mg/l)									
カルシウム (mg/l)									
マグネシウム (mg/l)									
硫酸根性窒素 (mg/l)									
リン酸根性窒素 (mg/l)									
リン酸根性窒素 (mg/l)									
COD (mg/l)									

② 0.01 等の測定値は測定下限値以下の値であり「検出されない」と表示。— は欠測を示す。また、空欄は測定していないことを示す。

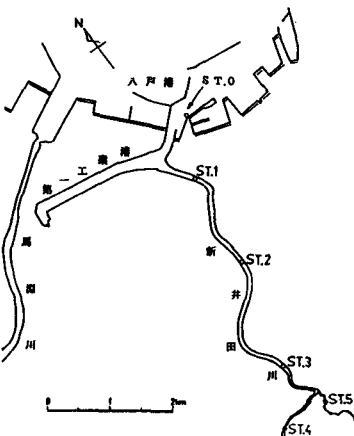


図-2 河口部調査の観測点

表-1 水質分析結果

表-1は、1988年12月の調査の水質分析結果である。11月と12月の2回の調査において、分析結果には多少の違いはあるが以下の傾向で一致していた。下流部を除けば、概ね水質は良好と言える。支川の中では、他に比べ頃巻川 (Pt. 3) の水質がかなり悪く、本川の水質に少なからぬ影響を与えていることがわかる。この川は、流量が少ないうえに、流路長が比較的長く、生活雑排水の排水路と化している様相を呈していた。また、Pt. 13のTOCおよびアンモニア性窒素の値が他に比べ高い値を示している。この付近には集落が形成されており、かなりの生活雑排水の流入が認められた。しかし、今回の調査結果を見る限り下流への影響はそれほど大きくないと言える。

3-2 河口部感潮域調査

①水位変動

図-3は、1987年の観測時に得られたSt. 2における水位変動の記録であり、このデータを基にFFT法によりスペクトル解析 (サンプリング間隔9.5分) を行った結果が図-4である。2回潮、半日周期の潮位変動に加え、第一工業港および八戸港の静振と考えられる全振幅が20~30cmにも達する、周期30~40分程度 ($4 \sim 5 \times 10^{-4} \text{ Hz}$) の特徴的な短周期変動がみられる。図-5は各観測地点での水位変動の経時変化を示したものである。St. 1~5は、1時間毎の目視によって得られた水位であり、また、St. 2' は、St. 2に設置したK式水位計の連続記録。St. 0は、河口検潮所での水位記録より数値を読み取った結果である。ちなみに、各測点の水位基準点 (0m) は、T. プレレベルに合わせてある。約4km隔たったSt. 0とSt. 3との間で、水位変動の位相遅れはほとんど見られず、また、振幅の減衰も起こっていない。さらに、上流のSt. 4でさえも約70cmの振幅を有していた。ちなみに、長波の波速からSt. 0からSt. 4までの伝播時間を求めてみると約20分と求まった。一方、St. 5では、河床勾配を有しているためほとんど水位の変化はみられないが、水位が50cmを越える時間帯において僅かな水位の変化が認められる。図-6は、各観測地点間における水面勾配の変化を示したものである。St. 3より下流においては30~40分周期の水位変動に起因した若干の水面勾配の変動はみられるもののその値は極めて小さく、また、St. 4、St. 5においても、高水位時に水面勾配の低下が認められる。このように感潮域においては水面勾配の絶対値が極めて小さく、水面勾配から他の水理量を算定することは精度上困難と言える。

②流速・密度構造

流況調査で得られた流速、塩分、水温等のデータを基に得られた、代表的な流速、密度の鉛直分布を図-7に示す (鉛直分

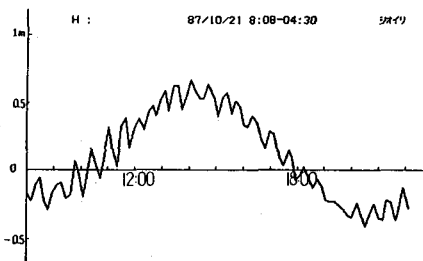


図-3 St. 2における水位変動

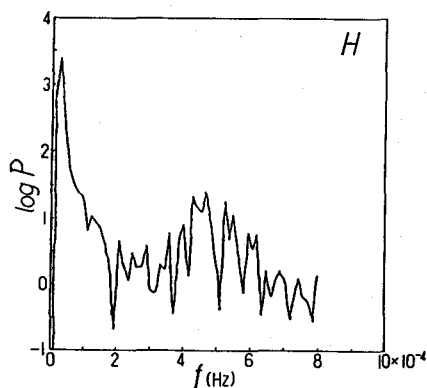


図-4 水位変動のパワースペクトル

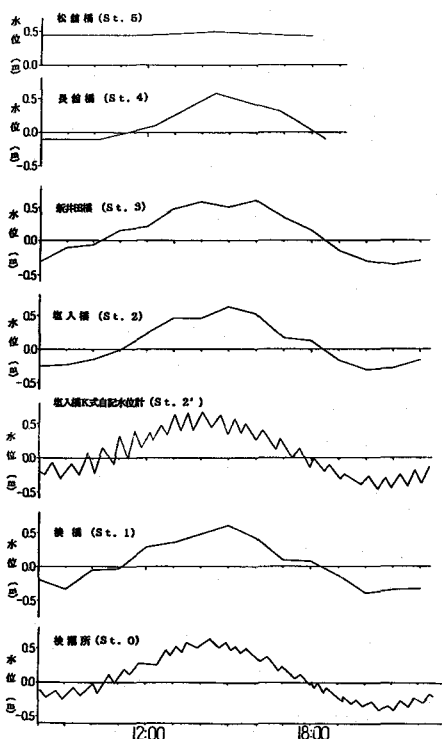


図-5 観測点の水位変動

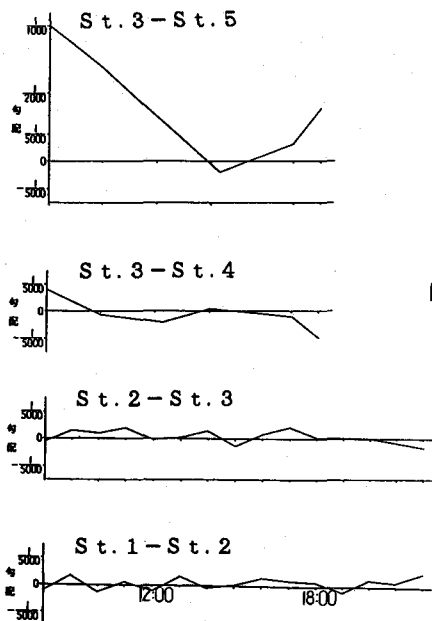


図-6 観測点間の水面勾配

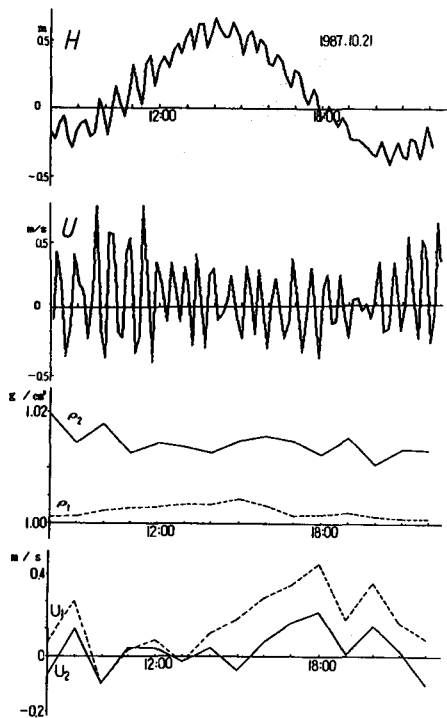


図-8 水位、流速、密度の経時変化

から上方50cmにフィルム式流速計を設置し、底層流速の連続観測を行った。その経時変化とFFT法によるスペクトル解析（サンプリング間隔3.75分）の結果が図-10、図-11である。底層での流速・流向は、複雑な変動をしているが、その卓越周期は、表面変動と同じ約38分（ 4.4×10^{-4} Hz）およびそ

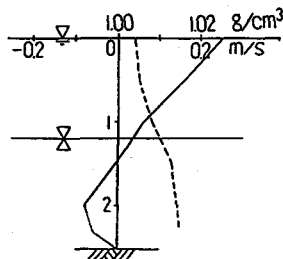


図-7 流速、密度の鉛直分布

布の経時変化については文献(5)、(6)参照)。密度構造は、緩混合形式を呈しており、鉛直方向に密度は漸変しているが、その分布には変曲点がみられることにより、仮想界面の定義も可能であり、塩水の侵入長のおおよその予測に関して、二層流的な扱いが可能であることを示唆し

ている。St. 2における定点観測より得られた各水理量の経時変化を図-8に示す。図中の記号は以下のとおりである。

H : 水位 (K式自記水位計)

U : Hより計算された断面平均流速

U_1 : 定時観測データより得られた上層平均流速

U_2 : 定時観測データより得られた下層平均流速

ρ_1 : 定時観測データより得られた表層密度

ρ_2 : 定時観測データより得られた底層密度

ただし、密度が約 1.01 g/cm^3 の位置をもって上下層の仮想境界とした(図-7)。また、Uは、水位観測点より上流域の水表面積と水位上昇量を乗じて断面通過流量を求め、これに上流端より供給される定常淡水流量を加え、横断面積で除することにより求めた。水位変動Hより計算された平均流速Uが示すとおり、定時観測より得られた1時間毎の観測値 U_1 、 U_2 は、なめらかな連続性を示さず、1時間毎の定時観測結果だけからでは、正確な流況の把握が困難であり、連続観測の必要性を示唆している。

図-9には、1986年に観測されたSt. 1とSt. 2における水面および仮想境界面（ $10000 \mu\text{S/cm}$ の等伝導度面）の時間変化を示した。前述のように、表面変動は1.6 km離れた2地点で位相遅れや振幅減衰はほとんどみられないが、仮想境界面の変動に関しては上流で約1.5時間の遅れを示しており、変動が内部波モードで上流に伝播していることを示している。このような現象は潮位差の小さい弱混合河川においては通常観測されるが⁽⁷⁾、本河川のように潮位差が大きく、また、水深の浅い緩混合河川においても同様の現象がみられることは興味深い。St. 1においては、表面波と内部波の波速の相違により、全層が伝導度 $10000 \mu\text{S/cm}$ 以上となる時間帯が出現し、河道部での上層水の間欠化が生じていることがわかる。

1987年10月19日～20日にかけて、St. 2の河床から

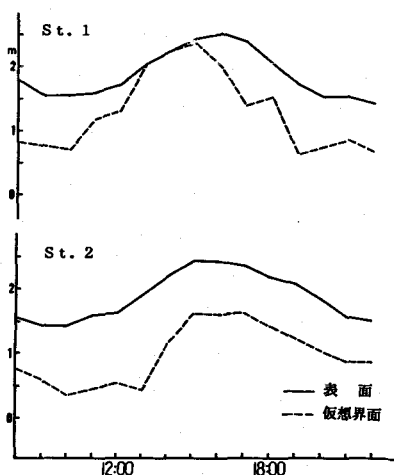


図-9 水位および仮想境界面の変動

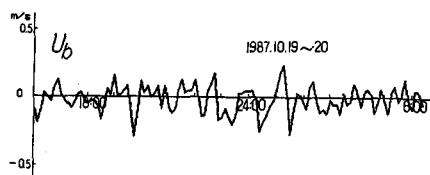


図-10 底層流速の経時変化

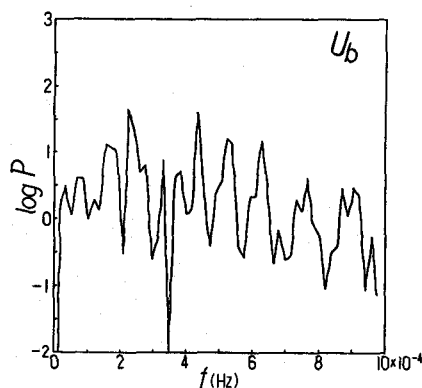


図-11 底層流速変動のパワースペクトル

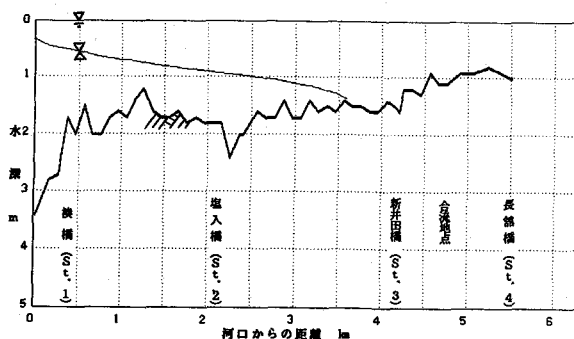


図-12 塩水侵入状況の予測

の倍周期（76分）である。短周期の水位変動が底層の流動に及ぼす影響は非常に大きいことがわかる。下層に投入された汚濁物質は、順流・逆流を繰り返しながら、長時間河道部に停滞するばかりでなく、20cm/s以上の流速が生じていることから底質の巻き上げによる水質汚濁の要因ともなっていることがうかがえる。

図-12は、塩水の侵入状況を2層モデルを用いて計算した結果である。計算に必要な水理量は観測時の平均量を、また、界面抵抗係数としては $f_i = 0.25 \phi^{-0.5}$ を採用した。新井田川に流入する工場および生活排水の排水口の多くは、河口から約2kmの区間に集中し12カ所に及んでいる。この区間では図より明らかなように、下層に塩水が存在し流れの成層化が起り、鉛直方向の拡散が抑制されていることが予想される。また、河川流量がきわめて小さいため、流入した汚濁水塊は順流、逆流を繰り返しながら、僅かずつ流下することになる。特に、逆流時に投入された汚濁水塊や、下層に投入された汚濁水塊は、遡上、流下を繰り返しながら、広範囲にわたり、かなり長時間河道部に存在し、時間の経過とともに汚濁物質は沈降、堆積することになる。実測されたヘドロ（軟質底泥）の堆積状況（図-13）は、まさにその結果を示していると言える。

③水質の経時変化

図-14は、St.2の右岸から約10m、河床上方15cmに設置した塩分、DO、pHおよび水圧式水位計の連続観測結果である。観測日の河川流量は、 $7.6 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。塩分は当然のことながら、pHに関しても水位との間に相関が認められる。ただし、前述のように水位変動と若干の位相差が存在するようである。DOに関しても、水位との相関が見受けられるが、10時頃からDO値の急激な上昇があり（9時以降、上流からかなりの水片の流下があった）、一概に結論は出せない。また、短周期の水位変動（延いては流速変動）に対応していると思われる、短周期の水質変動がみられる。1時間毎に底層より採取した水の分析結果の一部を図-15に示す。本分析結果を見る限り、水質変化には以下の傾向がある。アンモニアは上げ潮時に高い値を示し、満

干潮時には比較的低い値を示している。一方、硫酸イオンは、潮位変動（または塩水侵入状況）と良い相関を示している。SS、TOCは大きく変動しており、その傾向はつかみにくいが、満潮時および干潮時に特にその変動が激しいことがわかる。しかしながら、観測点における水質は、断続的、突発的な生活排水や工場排水の流入に大きく影響されることから、今回の調査結果からだけでは流況との正確な相関関係を見いだすことは難しく、流入排水に関する詳細なデータが必要とされ

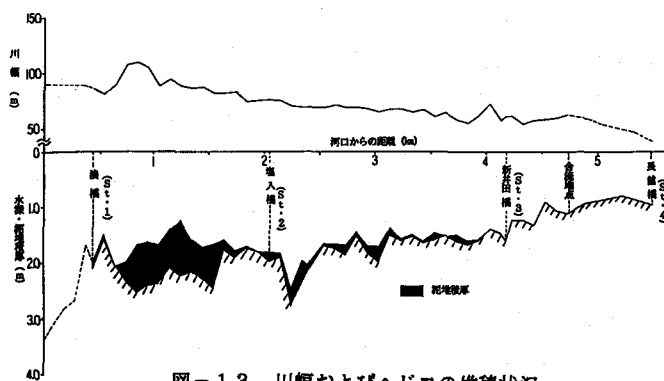


図-13 川幅および河床の堆積状況

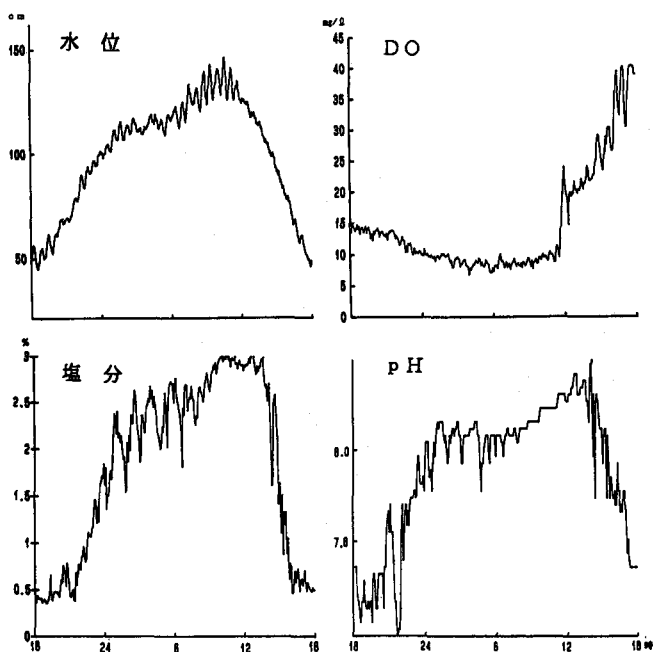


図-14 水位および水質変化

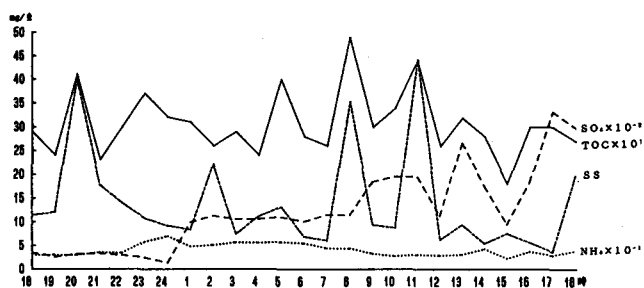


図-15 採取水の水質分析結果

る。また、水質汚濁の主要な目安となるSS（または濁度）の連続観測の必要性も切に感じた。

4. おわりに

以上、本調査により、新井田川の基本的な流況・水質特性がある程度明らかになったと考える。本結果と、現在並行して実施している新井田川の乱流計測の結果を基に、今後は、新井田川の流況・水質の精度の高いシミュレーションを行っていくつもりである。

本研究を進めるにあたり、有益な御助言と御協力を賜った福士憲一助教授に、感謝の意を表するとともに、調査・分析に際し多大な助力をいただいた袖村 陽君をはじめとする環境工学講座の学生に、厚く御礼を申し上げる次第である。なお、本研究の一部は、昭和62年度八戸市「21はちのへ研究」の補助を受けて実施したものである。記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 八戸市環境衛生部：八戸市公害白書、昭和61年版、1987。
- (2) 青森県：青森県公共用水域水質測定結果、1985。
- (3) 青森県公害センター：新井田川精密調査、所報第1号、1975。
- (4) 青森県公害センター：新井田川汚濁機構解析調査(I)、所報第7号、1985。
- (5) 西田修三 他：新井田川河口部の水理特性、土木学会東北支部技術研究発表会講演概要、1987。
- (6) 西田修三：新井田川の流況・水質調査、昭和62年度八戸市「21はちのへ研究」報告書、1988。
- (7) 西田修三・吉田静男：天塩川河口二層流の水理特性、第3回海岸工学講演会論文集、1986。