

差)を用いる。この値が正ならば高気圧は強く日本は高温となり易く、負ならば逆の傾向となることが多い。

上の2つの要因を年代毎に示したのが図4である。図の上部に標準偏差(σ)を記入してある。亜熱帯高気圧についてみると、1960年代は勢力も強く σ も小さいので、比較的安定している年代で、先に見た低温の少ない年代に対応している。一方、1970年代には高気圧はやや弱まって σ も大きくなっており、高・低温出現数の増加に対応する。次に、ZIでは、1960年代は正偏差で低温の少ない年代、1970年代はZIはほぼ平年並だが σ が大きくなっており高・低温の出現数の増加を表わしている。

日本の実際の天候は上の2つの要因の他に、複雑な現象が絡み合っ起きているのだが、第一近似的には上の2要因が大きな部分を占め、図4にも見られるように、亜熱帯高気圧が強ければZIも大きく、その逆も言える。

2. 仙台市七北田川河口域の水質分布と河川流量

菊地 永祐*, 杉本 隆成**, 栗原 康*, 花輪 公雄*

1. はじめに

河口域における環境の汚染または浄化の過程は、移流・拡散・掃流・堆積等を含む輸送過程と、無機物および有機物の変質過程とから構成されている。この系を明らかにすることを目標にして、仙台市七北田川の河口域を例にとり、ここ数年間にわたって共同調査を進めてきて

4. まとめ

日本での夏の顕著な高・低温の年代毎の出現頻度の特徴を述べ、これらをさらに年代ごとの、大気環流の特徴と比較した。その結果1940年代、1980年代は資料数が少ないので断定は出来ないが、1960年代の気温変動の小さい比較的穏やかな時期から1970年代は変動の程度が増大しており、1980年代に入っても同様な傾向がみられることがわかった。本調査はごく簡単なものなので、今後さらに詳しい検討が望まれる。なお、興味のある方は次の文献を参照されたい。

参考文献

- 気象庁 (1981) 1カ月予報指針。
- 上原 進・岩田静夫 (1981) 今年の冷夏に対応する最近の漁海況情報について。水産海洋研究会報, 38。
- 気象庁 (1974) 近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて。
- 気象庁 (1979) 同上 (II)。

いる(栗原, 1980)。ここでは、水質が河川流量に如何に依存しているかという問題を中心にして現場の実態を紹介する(KIKUCHI and KURIHARA, 1981)。

七北田川は、図1-a, bに示すように仙台市の北西の泉岳に端を発し、仙台市北部を通して仙台湾に注ぐ二級河川である。流域面積は約200 km²、幹線流路総延長約45 km、最多頻度流量は2~3 m³ s⁻¹である。河口から約4.2 kmのところ塩水遡上止めの潜堰があり、これより下流を通常河口域と呼ぶことにしている。河口域の川幅は50~100 m、水深は2~3 m程度である。河口付近では、下流に向かって左岸(北側)に蒲生瀉が形成され、さらにその隣りに仙台新港・仙台臨海工業地帯が続いて

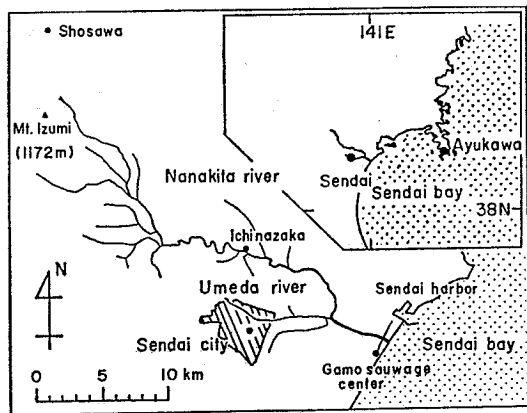


図 1-a 七北田川と周辺域の概略図

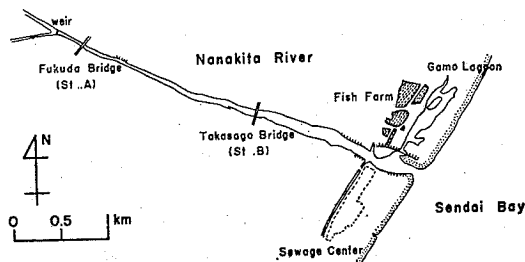


図 1-b 七北田川河口域の地形と観測点

* 東北大学理学部

** 東京大学海洋研究所

いる。また、右岸（南側）には仙台市の下水処理場があり、大量の処理排水が沿岸域に放流されている。

2. 河川流量変動と塩水楔の応答

まず、河川流量の特性について述べよう。図1-aの市名坂の水位から換算して求めた河川流量 Q の頻度分布を図2-a, bに示す。

a 図は一年を通してみた場合の1974年の例（縦軸は日数）であり、b 図はとくに1, 2月と7, 8月とを比較したものである。大雑把に見て、最多頻度流量は冬のもので構成され、流量の大きなものあるいは渇水は夏にあらわれる。それは、夏に降った雨は1~2日程度で流出し、雨が止むと2, 3日中平水~低水位なるが、冬には山に降った雪が貯えられ徐々に融け出すという傾向があ

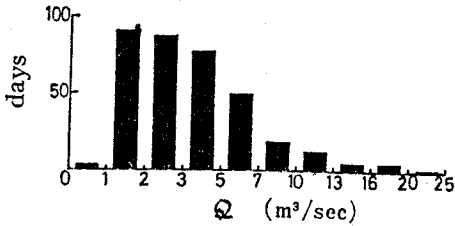


図 2-a 河川流量の頻度分布 (1974年)

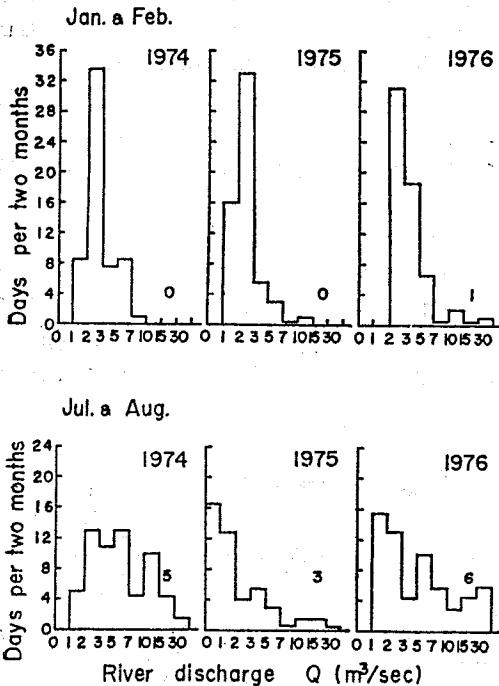


図 2-b 同 (1974, 75, 76年の1~2月および7~8月)

るからである (HANAWA and SUGIMOTO, 1979)。

河口は、海岸の漂砂のために春から夏にかけて閉塞するので、洪水防止のため毎年切り開き作業が行なわれている。潮差は大潮時に 70 cm, 小潮時にその半分の程度で小さく、奥行も第2の堰まで約 10 km と短い。このため潮流は弱く、大潮でも最大 30 cm s^{-1} 程度である。ただし、河口付近では上層でも転流があり、河口から 1 km 位までは満潮時に全層海水で占められることが多い。

塩分分布の一例を図3-a, bに示す。満潮時に河口付近を除けば、鉛直方向に成層が発達し、いわゆる塩水楔型をしている。塩分躍層における鉛直混合の強さは、潮流

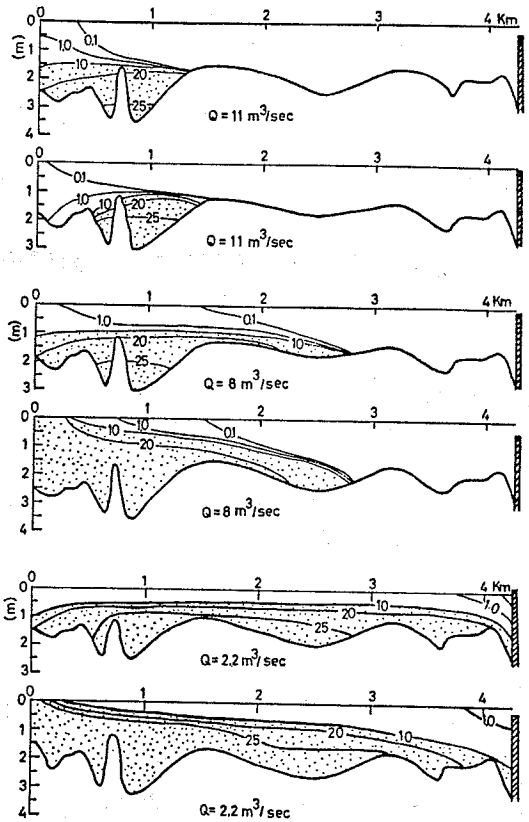


図 3-a 塩分の縦断面分布 (増水後の場合) 上から 1974年8月2, 3, 4月の満または干潮時

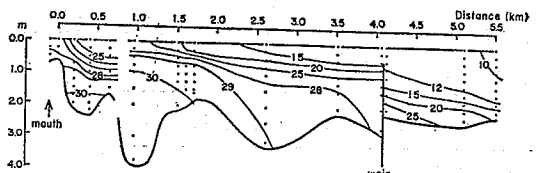


図 3-b 同 (渇水期の場合)

の位相によりかなり大きく変わるが、海水の遡上の長さに対する潮汐の影響は比較的小さい。また、河口の幅がある程度開いている際には、河口の地形の影響も比較的小さい。七北田川の場合、塩分分布は相対的に河川流量に大きく依存して変動している。図4は前後の降水量と、水位から換算した河川流量を示す。図3をこれと比べると、増水後の塩水楔の回復は1日以内のようである。河川流量が $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ より大きいと海水は河川から押し出され、 $2 \sim 3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ だと4.2 km 上流の潜堰にまで達し、濁水になるとb図のように潜堰を越えて上流にまで及ぶ。図5に各河川流量に対応する塩水楔の準定常状態の形状をまとめて示す (SUGIMOTO and TANIYA, 1978)。

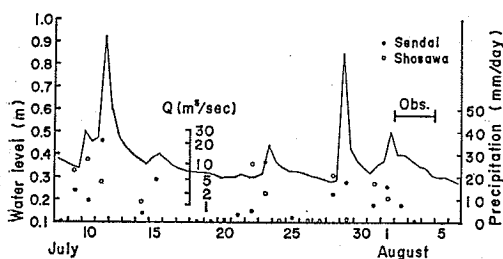


図4 降水量と河川流量 (1974年7, 8月)

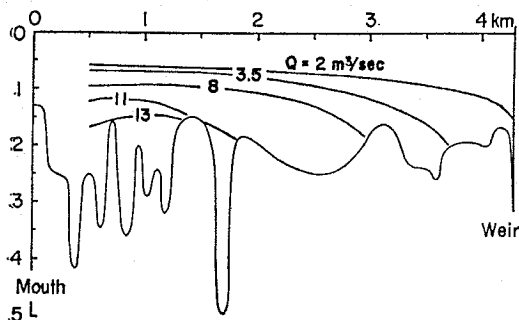


図5 塩水楔の形状の流量による違い

つぎに塩水楔中の塩分について見ると、増水後の塩分の回復は、塩水楔の侵入の回復に比べれば著しく遅い。河口域の河川水層と塩水層内の水質の、河川流量の変動に対する応答を調べるために、図1-bに示す河口から3.8 km 上流の St. A と1.8 km 上流の St. B の2地点で、1977年7月9日～7月28日に毎日定時 (午前10時頃) に水温、塩分、濁度の鉛直分布を測定し、各層から採水して栄養塩等の分析を行った。図6-a, bに、両地点の塩分の鉛直分布の変化を示す。また、図7に、同年7

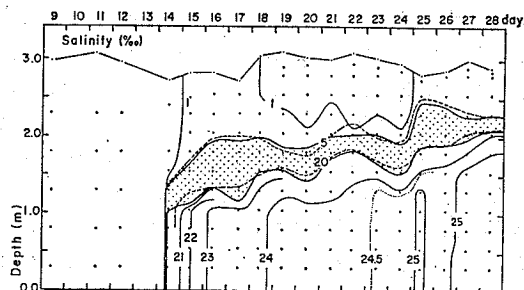


図6-a 塩分の鉛直分布の経日変化 (1977年7月) St. A

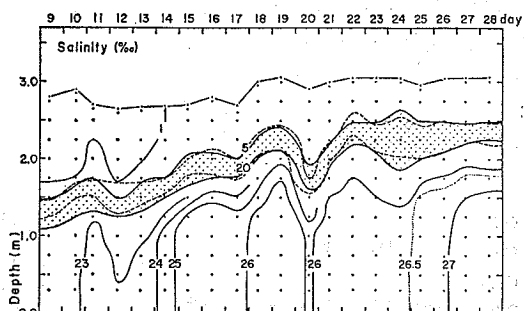


図6-b 同 St. B

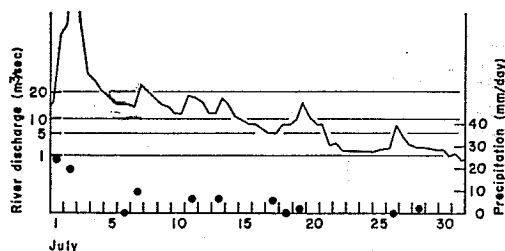


図7 降水量と河川流量 (1977年7月)

月の降水量と河川流量の日々の変化を示す。これを見ると、6月末から7月始めにかけて大増水があり、期間中にも数回の増水があったが、全体として7月中はゆるやかな減少傾向にあった。図6-bを見ると、St. B では全体として、下層の塩分は23% から27% まで増加し、躍層部は約1 m 上昇している。上流側の St. A では、14日に始めて塩分濃度19% の塩水楔の先端が到達し、以後単調に25% まで増加している。このほか両図には、比較的小さな流量変動に伴って、1日程度の遅れで躍層が変動するのも見られる。そこで淡水層1層、塩水層2層の三層モデルを用いて、塩水楔内の鉛直循環流・鉛直混合を考慮して2地点塩分の変動を解析した結果、塩水

楔内の水の滞留時間は、平水流量 ($2\sim 3\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$) 時で約10日程度であること、また、夏季の増水時には100日以上になって下層の水は交換がほとんど起こらないために、河口付近の交換のよい所を除けば、無酸素化すること、などがわかった (HANAWA and SUGIMOTO, 1980)。

ところで、河川流量の変動に伴って、懸濁物質や栄養塩等の濃度・輸送量は更に大きく変動する。図8は、冬季における河川流量の変動と、河口から約5km上流にある仙台市役所水質自動測定局での濁度およびCODの濃度(半日毎に読み取ったもの)の変動を示す。これらを見ると、濁度、CODの濃度は増水時に著しく増え、河川から河口域・海域への負荷量は平水流量時の100倍程度になることがわかる。夏には1,000倍程度にもなる。このことは、多くの懸濁物質は平水流量時には河床・河岸に堆積し、それが増水時に巻上げられ、さらには市内の側溝等からの排水も加わって高濃度になって一挙に

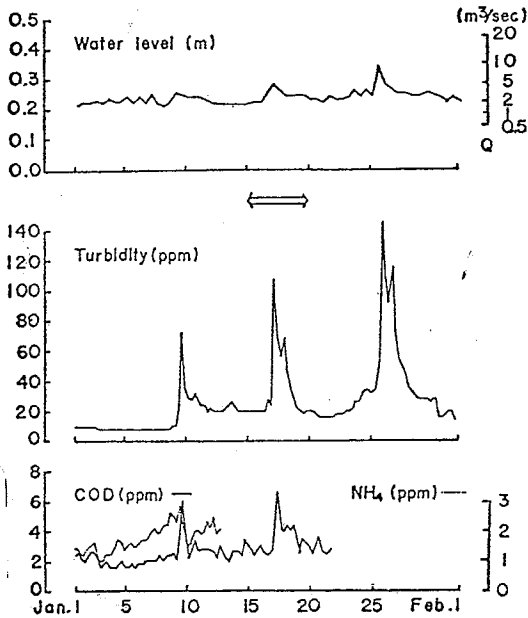


図8 河川流量、濁度、COD濃度の経日変化

海中に放出されることを意味している。

3. 河口域の水質分布の河川流量による違い

つぎに、以上に示したような物理的な環境の下で、河口域の水質が流量が多い場合、少ない場合に対応してどのような分布を示すものかについて述べよう。

(1) 平水流量時における七北田川河口域の水質(河川流量, $3\text{ m}^3/\text{sec}$)

河口域は海水と河川水の接触、混合の場である。従って、河口域の水質は、河口域内での物質の変化がなければ海水と河川の混合比で決定されると考えられる。海水は塩分濃度が高く、塩分の河口域内での生成や増加は無視しうるほど小さいので、塩分分布を調べることによって、河口域での海水と河川水の混合の割合を示すことができる。

平水流量時における塩分濃度の縦断面分布をみると、上層の塩分濃度は低く、淡水に近いが、下層にはほぼ海水と同じ塩分濃度の塩水があり、水深1m付近に塩分躍層が形成されている(図9-a)。すなわち、七北田川河口域では、海水が楔状に底部を遡上しており、河川水は下層の海水とほとんど混りあわずに、海水の上を流れて海へと吐出している。

水中の溶存物質が河口域内で増加も減少もしないとなれば、上層の淡水部の水質は河川水、下層の塩水の水質は海水と同じになるはずである。河川水は一般に海水より

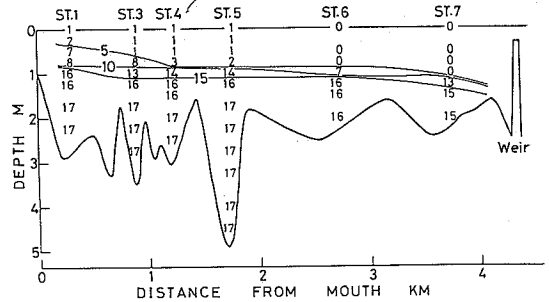


図9-a 平水流量時における塩素量の縦断面分布の例(1976年7月6日)

表1 海水および河川水中の塩素量・溶存酸素・栄養塩の濃度, 1976年7月6日 午前10時(上げ潮時)。河川では河口から5km上流の地点で採水

	chlorinity(‰)	DO(%)	NH_4^+-N^*	NO_3^--N^*	NO_2^--N^*	$\text{PO}_4^{3--}\text{P}^*$
Sea water	17.6	96	0.1	1.0	0.1	0.3
Umeda river	0.2	100	79	56	6.2	5.3
Nanakita river	0.2	93	25	31	1.8	2.4

* $\mu\text{g-at/l}$

りも、 PO_4^{3-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ などの溶存無機栄養塩の濃度が高い(表1)。したがって、このような栄養塩は上層の河川水部でその濃度が高くなるはずである。 NO_3^- は上層の河川水部では一様に濃度が高く、下層の塩水層では低く、塩分濃度と逆の関係になっている(図9-b)。このことは、 NO_3^- が上層の河川水部と下層の海水の間で交換、拡散することなく、そのほとんどが河川水にのって、河口域であまり変化することなくストレートに海へ吐出することを意味する。

NH_4^+ と PO_4^{3-} は上層の河川水部では上流から河口にかけてその濃度は変化せず、やはり塩水楔の上を河川水にのって海へと運ばれる。しかし、下層の塩水部では、下流の河口付近では海水の水質と同じで、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} は低濃度であるが、上流へいくにつれてその濃度が増し、また、水深の深い地形の“くぼみ”では深度が増すにつれて、その濃度が増加する(図9-c, d)。溶存酸素(DO)は、上層河川水ではやはり上流から河口にか

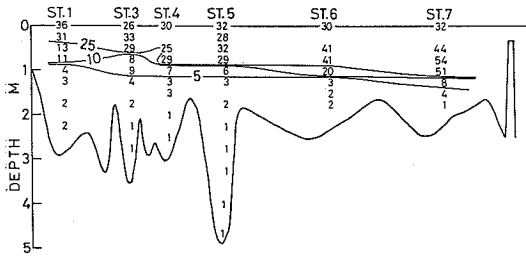


図9-b 同 $\text{NO}_3^{11}\text{-N}$ の分布

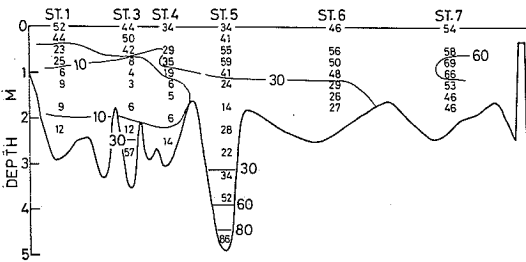


図9-c 同 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の分布

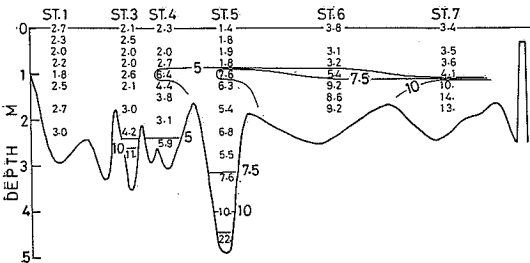


図9-d 同 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の分布

けて、その濃度はあまり変化しないが、下層塩水部では、河口より上流へいくにつれて濃度が低下し、かつ“くぼみ”では深さをますにつれて濃度が低下する。すなわち、塩水楔の中ではその上流部やくぼみの底部で、 $\text{NH}_4^+ \cdot \text{PO}_4^{3-}$ 濃度が増し、溶存酸素が減少する。

有機物が生物によって酸化分解されると、炭素は CO_2 、有機態の窒素やリンは無機化されて、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} となり、同時に酸素が消費される。一方、七北田川河口域では、塩水楔の長さは潮汐によってはあまり変化せず、下層の塩水は上げ潮時に遡上する海水によって上流へ押し上げられるため、塩水楔の中では上流へいくほど、河口域内に長く滞留した水塊によってしめられることになる。また、一たんくぼみに高塩分の海水が侵入するとその水塊がくぼみに長時間滞留することが、河口域ではよくみられる。したがって、くぼみの底部や塩水楔の先端部の水塊は河口域内に長時間滞留していたため、有機物分解の影響をうけて、溶存酸素が減少し、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} が増加したものと考えられる。

(2) 増水時における七北田川河口域の水質

増水($25 \text{ m}^3/\text{sec}$)後2日目で河川流量が約 $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 弱のときの水質分布を図10に示した。塩水は河口より1kmまで遡上しているが、海水よりも塩素量が低く、海水が河川水と混合したことを示している。また、平水流量時より塩水楔の長さは極めて短かく、河口域内に滞留していた塩水は出水によってほとんど海へ吐出される。以上の結果は、増水時には河川水によって塩水が海へ押し出され、河口域は河川水の単なる通過の場となることを示している。

増水時の下層塩水の水質をみると、くぼみとなっている St. 2 と St. 3 で差がみとめられた。すなわち、St. 2 では底部に近づくにつれて、 NH_4^+ が減少するのに対して、St. 3 では底部に近づくにつれて、塩分濃度とともに NH_4^+ 濃度が増加し、 PO_4^{3-} 、溶存酸素が減少する。このように増水の程度が小さい場合には、河口近くのくぼみには低塩分の塩水が残り、そこではやはり溶存酸素の減少と NH_4^+ の増加がみとめられる。

(3) 湧水時における七北田川河口の水質

図11に湧水時における河口より約1.7km上流の定点での水質の潮時変化を示した。湧水時には、上層の塩分は干潮時でも6%と高く、河川水が下層の塩水を取り込み、いわゆる緩混合型の塩分分布に近くなっている。下層の塩水層の深さがますますともに急激に溶存酸素が低下し、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} の濃度が増加する。また、塩水は平水時よりも更に上流へ遡上していることが観測されて

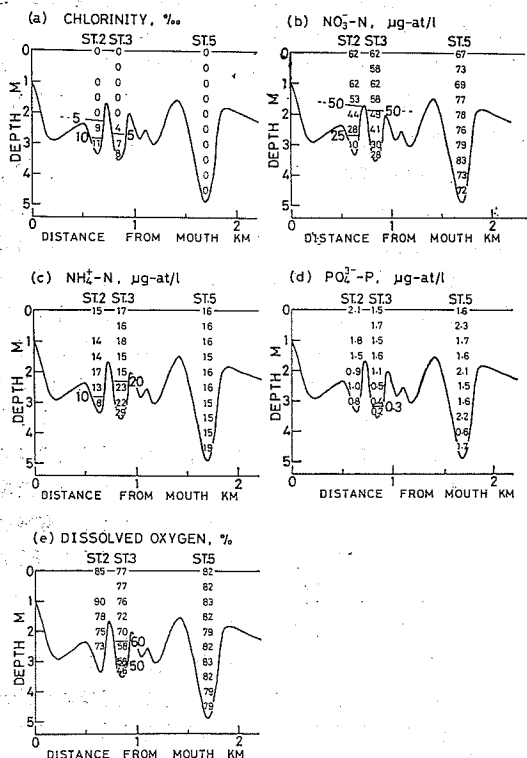


図10 増水時における塩素量, 溶存酸素および栄養塩の分布, 1976年 8月19日

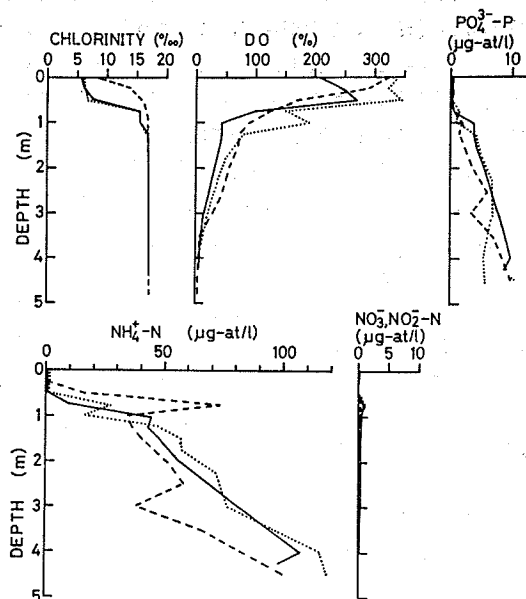


図11 潟水期における塩素量, 溶存酸素および栄養塩の鉛直分布, 1975年 8月21日, St. 5

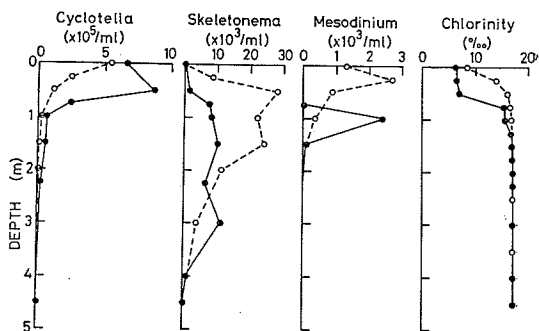


図12 潟水期におけるプランクトンの鉛直分布, 1975年 8月21日, St. 5, —●—は上げ潮時(13時), …○…は満潮時(16時)

おり, 以上の結果は, 潟水時には低濃度の水塊が広く河口域の深部をおおっていることを示しており, このような水質の低酸素化はくぼみで強化される。

潟水時の水質にみられたとくに顕著な現象は, 上層の河川水部において, NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} などの溶存無機栄養塩類の濃度が極めて低く, 溶存酸素濃度が 200~300% と過飽和になっていることである。水中のプランクトンを調べてみると, 上層の河川水部にはケイソウ (*Cyclotella*) が非常に多量に出現していた (12図)。また, 塩水躍層直下には繊毛虫 (*Mesodinium*) が出現していた。*Cyclotella* は平水流量時に見られる植物プランクトン数の 100 倍もの数であり, *Cyclotella* が大増殖をしていることが分かる。植物プランクトンは無機栄養塩を吸収して, 光合成を行ない酸素を放出する。したがって, *Cyclotella* の大増殖が, 上層河川水の無機栄養塩の低下と溶存酸素の増加の原因となっている。潟水時には, 河川水量が減少し, その流下速度がおそくなるために, 河川水が海へ流下するまでに植物プランクトンが増殖するのに十分な時間と余裕がうまれるものと考えられ

る。以上の結果はまた, 七北田川河口域に流入する河川水は植物プランクトンの増殖のための栄養塩に富み, そのために温度と光条件が満たされるならば, 植物プランクトンの増殖がおこり, 河川水は流下とともに自浄作用とは逆に有機物量が増加することを示唆している。

4. おわりに

以上, 塩水楔型の河口域の水質分布の河川流量への依存性について述べてきた。とくに, 夏季の潟水時には, 上層水・下層水とも滞留時間は長くなり, 下層は貧酸素化してリン酸等の上層への補給が増大することによって,

プランクトンの大増殖が起きること、また、増水時には、河川から海域への懸濁物質、等の負荷量が著しく大きくなること、などについて述べた。しかし、河川系水の海域における拡がり方懸濁物質の沈降の仕方等については、調査がまだ不十分な関係で触れられなかった。今後は、栄養塩や懸濁物質の河岸境界域や潮間帯河口周辺域における挙動、とくに増水時におけるそれについても、詳しい実態調査をしてゆく必要があると感じている。また、神奈川県相模川は、七北田川に比べて規模がひとまわり大きい、地形的条件、社会的条件がよく似ているので、できれば比較調査をしたいと感じている。

最後に、このような情報交換の機会を与えて下さったことに対し、コンビナーの皆様にご心からお礼申し上げる次第である。

3. 相模川・酒匂川の水質(総括)

1. はじめに

相模川・酒匂川流域下水道処理場が相模湾沿岸に及ぼす影響について、従来からの調査結果を総括して報告する。

相模川流域下水道計画は昭和44年度に計画決定と共に事業開始され、昭和48年度に右岸、昭和52年度に左岸の処理場が各々下水処理を始め現在に至っており、昭和65年度には処理人口187万人、処理排水量23.3トン/秒、管渠延長94kmの規模をもって完成する予定である(図1参照)。ただし、昭和55年度までの処理場の整備状況は

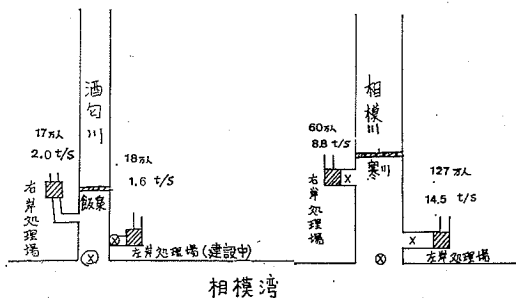


図1 相模川・酒匂川の流域下水道計画および調査地点

×; 水質調査地点
 ○; 水質底質調査地点

引用文献

- 1) HANAWA K. and T. SUGIMOTO (1979) Effect of Variation of River Discharge on Flushing and Recovery of Salt Wedge (1) Sci. Rep. of Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysics, **25**, 219-233.
- 2) Ibid. (2) Sci. Rep. of Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysics, **27**, 1-17.
- 3) KIKUCHI E. and Y. KURIHARA (1981) Effect of River Discharge on the Distribution Pattern of Dissolved Constituents in the Gamō Estuary, Miyagi Prefecture. Japanese Journ. of Limnology, **42**, 100-107.
- 4) 栗原 康 (1980) 干潟は生きている. 岩波新書, 219頁.
- 5) SUGIMOTO T. and M. TANIYA (1978) Effect of Boundary Geometries on the Intrusion of Salt-Wedge Sci. Rep. of Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysics, **25**, 197-208.

早川 康博 (北里大学水産学部)

処理人口27.8万人、処理排水量1.64トン/秒、管渠延長45.5kmで、各々の計画達成率は15%、7%、48%となっている¹⁾。

また、相模川流域下水道処理場の相模湾沿岸への影響を評価するには、図1に示すように処理排水の流入する相模川河口部の水質・底質をモニターし、種々の汚染項目の沿岸海域への流入負荷濃度と負荷量の変遷を検討する必要がある。しかし、処理場の機能は河口部上流端にある寒川取水場(神奈川県営水道事業取水量の約60%を占める²⁾)における取水用水の水質浄化、ならびに河口部海域流入水の浄化という2つの機能をもっている。したがって、取水用水と海域流入水の2つながら浄化される場合、一方のみ浄化される場合、共に浄化されない場合に依じて処理場の存在意義が検討されねばならない。そして、我々は取水用水の浄化、海域流入水の汚染化となる可能性が高いと考えている。なぜならば、計画完成時には相模川本川の海域流入量30~40トン/秒のうち23.3トン/秒が処理排水に置き換わり、しかも処理排水は昨年までの結果によると全窒素約25mg/l、全燐約2.5mg/lと現在の海域流入水(河口部表層水)の10倍の濃度をもっており³⁾、一方、上中流部の取水用水はその分浄化されると考えられるからである。

本報告では初めに、神奈川県の水質測定資料を基に昭