

寄稿

河口域生態系における物理環境

— 研究の現状と問題点 —

杉本 隆成

(東京大学海洋研究所)

1. 序

多目的ダムの建設期の中の1960年前後、河口堰の建設期中の1960年代後半には、河口域の漁業に及ぼす影響の予察を目的として、かなり詳細な生物生態環境調査が行われた(たとえば、小泉 1967)。また、臨海工業地帯の建設が進められた1960年代の後半には産業排水の拡がり方、水産生物への影響の仕方を調べるための事前事後調査の中で、河口周辺域における河川水の拡がりの機構が研究された。その後、産業排水・都市下水の量が著しく増加し、富栄養化現象が恒常・広域化するに及んで、1970年代の物理環境研究では内湾規模の種々の循環流およびそれらによる海水交換の物理機構の研究に重点が置かれた。水産庁関係の公害対策研究では、閉鎖的内湾における栄養塩の循環や海水と底泥間の物質取支に焦点を置いた研究が行われた(東海区水産研究所など 1980)。今後は河口域を含めた潮間帯の生物生産と有機汚染物質の浄化機能を究明し、内湾全体における役割を定量的に評価することが主な研究課題とされている。

これまででも言われているように河口域や干潟・潮間帯は生物生産が高く、魚貝類の重要な産卵場・生息場である。また、陸起源物質の流入や海岸域の改変の影響を直接受ける、もろい場所であることも指摘されている。しかし、埋立・浚渫がやむ所を知らぬ一方、都市下水は流域下水道という形で集中・大量化が進んでいる。河口域や潮間帯は、内湾の中央部とは異なった物理過程に支配されているはずであるが、物質輸送機構という面からは研究が進んでいない。このような理由から、最近の研究レベルと観測技術でもって、再度河口域や潮間帯の組織的な調査研究を行うことが必要な時点にあるように思われる。そこで、ここでは、河川感潮域の生態系における物理環境について過去数年間に行ってきた研究を振りかえりながら、研究の現状と今後の課題についてまとめた。

この研究対象はもともと学際的な色彩の濃いもので、具体的な話に入る前に、自分の論述の視点をごく簡単に述べる。生態系における環境についてどう考え、物理の面からの研究をどのように位置づけているかについて、すでに常識化されている点も含めて、述べておきたい。

通常、生物にとっての環境は、食物連鎖を通しての生物的環境と、非生物的環境とに分類される。後者の非生物的環境とは、「まず第一に一次生産(光合成)に関わる光および物質の供給源であり、第二には水温や水質・底質の維持または変動に関係し、かつ、生物そのものを運搬し、集積・分散させる輸送・攪乱あるいは維持の機能である。第三には、水温や浸透圧など生理的機能・活動度に影響する制限因子であると考えられる。」非生物環境の一要素としての物理的環境はこのような生物との関係において把えられ意味づけられるものではある。

しかし、その物理的プロセスは一般にそれ自体のレベルの法則性(物理量保存則とエントロピー則)によって規定されており、従って、海洋物理学に基く問題の把え方が重要な研究手段であることも確かな事実であろう。流体内部の物理的諸量の分布と変動は、各諸量の輸送・生成に関わる内部過程と境界条件とを満足するように決まる。卓越する素過程ひいては諸量の大局的な濃度レベル、境界層の厚さなどは保存式を無次元化した場合に各項の前に表われる無次元パラメーターの大きさによって決定される。

海洋物理学の目的はこれらの条件の違いに対応した現象形態の位置付けを行うことであり、そこから現実の現象の解釈と予測を行うことである。これに対して、生態系の物理環境の研究にたずさわる者にとっては、諸々の物理現象に対して、海洋物理学的研究の最先端の知識・技術を理解する努力をしつつも、それと同時に、それらの物理現象がさきの「環境」として持つ役割を究明する

ことに貢献することこそが固有の使命であり最も重要なことなのであろう。

ところでこのような「環境」の研究をめぐって生物および化学の研究法と物理の研究法とがどのような形で協力できるであろうか。共通する土俵・言葉は何であろうか。我々の研究の出発点は、フィールドを同じくした共同の観測を行い、生物および諸々の環境要素のそれぞれの分布構造・環境勾配を明らかにすることである。

保存則に基づけば、あるボックス内の定常状態の濃度は、ボックス内での生成と消費およびボックス内への正味の輸送（流入と流出の差）によって決まる。内部の分布が一様な閉鎖的なボックスにおいては濃度レベルは生成と消費（消滅）だけで決まるが、河口域のように開放系で流れの強い所では輸送の効果を無視することはできない。生物の分布や環境勾配を理解するためにはそれらの「輸送量（トランスポートまたはフラックス）」を測定し、その構造を知る必要がある。ここに2番目の共同作業の場がある。

そのとき我々は「時間的変動とそのスケール」を念頭において現象を理解することを軽視してはならない。海洋現象は複数の外力（潮汐、風、海面からの加熱冷却、陸水の流入等）によって駆動され、かつ、地形的境界条件の不均一さによって様々な規模の空間的構造を持ち、様々な時間スケール（外力の変動周期と流体固有の変動周期）で変動している。物理環境の研究者は、物理現象のこうした特性を、各現場において具体的に明らかにし、かつ、生物種の分布構造や生活年周期や寿命等を含む生物生態に固有なスケール（あるものは環境への適応という形で歴史的に形成されたものかも知れないが）を絶えず念頭において、物理環境の時間的空間的構造と機能の意味を解明するように努めることが重要である。

2. 塩水楔型河口域における 諸量の分布と輸送

この章では序に述べた視点から、主に仙台市を流れ仙台湾に注ぐ七北田川および神奈川県を流れ相模湾に注ぐ相模川の河口域におけるこれまでの調査研究（栗原, 1980; 早川ら, 1978）等を参考にして、諸量の分布と輸送について総説する。個々の具体的なことについてはもとの論文を参照していただきたい。まず河口域に対する全体的なイメージをもつために各学問分野からの見方を紹介しておく。

1. 河口域とは

河口域に対応する英語のエスチュアリーという言葉はもともと大きな河川の感潮域という意味で使われていた

が、最近（第二次世界大戦後）は陸水の流入によって海水の塩分がある程度薄められた河川の河口部および内湾の意味で使用されている。この意味では陸水が海水に移り変わる遷移域（塩分の高い方の端ははっきりとは決められないが通常30%程度、淡水の5, 6倍稀釈位までの領域）である。塩水楔型の河口域の塩分と流れの分布構造等を模式的に図1に示す。

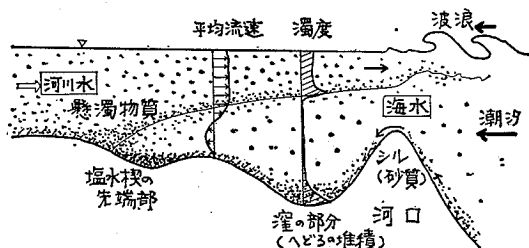


図1. 塩水楔型河口域の模式

陸水学・海洋物理学の分野では、この部分での流動（潮汐、密度流、乱れ、波浪等）と淡水と塩水の混合の流体力学的機構および、物質の輸送分布過程を主な問題とする。潮汐が届く範囲は、潮流に働く摩擦と河川流の押し出しの効果とに影響されるが、日本のように比較的小さな河川では、平均海面が上流の河床と交叉する地点あたりまでである。塩分の遡上域の長さは、潮流による上下混合が弱い塩水楔型（河川系水と海水とが二層をなす弱混合型）の場合（図1）と潮流による上下混合の著しい緩混合型ないしは強混合型の場合とでは異なるが、潮汐の影響が及ぶ長さに比べれば、かなり短い。

地球化学の面から見ると、陸水から海水へと変質する遷移域であり、接触直後の化学的平衡の変化（共同沈殿等）、フロック現象、人間起源物質（たとえば農業や産業排水、都市下水に含まれる諸物質）の挙動と行方等が問題にされる。生態学的に見れば河口域は陸水種と海水種の遷移域であり、著しい環境勾配と時間的変動への適応の生理・生活様式、食物連鎖系等が問題にされる。また、河川地質学・地理学の分野からは地形の形態の変化、これを支配する底質の運搬や堆積の機構が問題にされる。

なお、河口域は様々な人間活動・産業活動の極めて盛んな場所であり、魚貝類・ノリ等の漁場環境の保全と開発、石油化学・鉄鋼コンビナートの建設、大型船の航路のための浚渫、団地の建設、高潮・洪水による災害からの防止、海岸域でのレクリエーション機能や景観の保全といった相矛盾する社会的要請・傾向に対応するために、

水産学、海岸工学、衛生工学の面から、数多くの調査研究がある。さきに述べたいわば純自然科学面からの研究の進展も、これらの実用的な調査研究に負う所が大きかったといえよう。

2. 溶存物質の分布

塩水楔型の河口域では、上流から運び込まれる陸起源の水と物質（通常、塩分は0.1%程度）が上層水を形成し、下層の海水を取り込みながら流出する。海水の取り込みは塩水楔の先端付近で大きい。塩分は全体として塩水楔の先端付近から下流に向かって徐々に増加し、河口付近で数%程度になる。塩水楔の先端付近では、上層水中のカルシウムやマグネシウム等の金属イオンで海水の平衡から過剰の分は、海水の混入によるpHの増加に伴ない、炭酸塩、ケイ酸塩、水酸化物等となって沈殿し、化学組成は海のそれへと近づいてゆく（北野ら、1970）。

河川水中の溶存の栄養塩（硝酸、リン酸等）の流下方向の濃度分布は、おおよそ田畑や下水などから河川に流入する負荷量と生物等による自浄作用のバランスで決まる。通常の河川たとえば汚染が進み始めた七北田川、相模川のような河川の河口域では、栄養塩の濃度は全窒素が1~2ppm、リン酸態リンが0.1~0.2ppm程度に達しており、沿岸海域の平均的な値、全窒素が0.3ppm、リン酸態リンが0.01ppmの程度に比べてかなり高い。

河川流量が比較的に多くて、河口域内での河川水の滞留時間が短い（1日以下の程度）場合には、自浄作用が移流の効果に比べて小さい。したがって、下流に特別の負荷がなければ、溶存の栄養塩は下流方向に一樣に近い。しかし、河川流量が小さくなり滞留時間が数日程度以上に大きくなる場合には、夏季には植物プランクトンの光合成によって栄養塩が消費される効果が十分大きくなるので濃度レベルは下流に向かってかなり低下する。渇水状態になり、上層の動植物プランクトンが著しく増えると、光は下層にはほとんど届かなくなる。こうなると、上層から降ってくる有機物（デトリタス）の分解に溶存酸素が大量に消費される上に、上層からの混入と光合成による酸素補給が断たれるので、下層水は貧酸素ないし無酸素になる。

この還元状態の下では、有機物の分解によって生じたアンモニア態窒素は硝化されず、かつ、無酸素下では、嫌氣的バクテリアの底泥有機物の分解によるアンモニア態窒素とリン酸塩の溶出が盛んとなり、それらの濃度が増す。塩水楔の先端に近いほど底泥が集積し、海水交換も悪いので、より早くより強くこの傾向が現われる。

3. 懸濁物質・底泥の分布

河川水中の懸濁物質の濃度は河川により、流量により大きな違いがあるが七北田川や相模川の平水流量時には10~20ppmのオーダーであり、中身は大部分が粘土鉱物である。河川水中の懸濁物質の鉛直分布や下流への輸送については戦前・戦後とも数多くの研究がある（野溝ら、1959；鷺見、1978）。それらによれば、鉛直分布は主に乱流による巻き上げと沈降とがバランスする形で決まり、細砂（粒径1/16~1/4mm）以上の比較的大きな粒子は底から上方に向かって指数的に減少し、粘土や泥はその減少率が小さくて上下に一樣に近い。河岸から下水等の流入があると、これに微細な粒状の有機物質が加わるが、その大部分は粘土・泥の粒子に付着するものらしい。懸濁物・底質の粒径が小さいほど重量に対する表面積の比が大きいので、より多くを吸着させることができるので、粒径と含有有機物の量（強熱減量）との間には負の相関がある（相模湾水産振興事業団、1977）。

河川中水の懸濁物質濃度（または濁度）、CODは増水時には数倍から数10倍高くなる。それは流速が増加した結果、それまで河岸・河床に沈殿していた粒子が再浮遊し運ばれるためである。他方、夏季の渇水時には、正味の再浮遊がなく河川水の滞留時間（通過時間）が長くなるので、水温も高くなり植物プランクトンは著しく増殖する。上層水の懸濁物質濃度・濁度はこのプランクトンにより著しく増加する。

ところで、上述のような河川水が河川下流の塩水侵入域に入ると、それまで負の電荷を帯びていた粘土鉱物は取り込んだ海水中の陽イオンによって中和され、いわゆるフロック現象を起こして大粒子となり、沈殿が速められる。また、有機物とバクテリアの存在が粒子の粘着を促進する可能性も考えられる。しかし、この大粒子のフロック中には水が多く含まれているので、比重が上層の水のそれに近く、淡塩水の境界面に沈降しても粒子の中の水が海水のそれにおき変わる間躍層に滞留させられる（SAKAMOTO, 1968）、塩水楔内への沈降は妨げられる傾向がある。これに対して、潮流による躍層を通しての上下混合は懸濁粒子の下層への混入を促進するものと考えられるが、実態の詳細な観測は今後の課題である。

塩水楔内への粒状物質の輸送の経路としては、上層からの沈降の他に、潮流に伴う質量輸送と塩水楔内の鉛直循環流によって海側から塩水楔の先端に向かって底層を運ばれてくるもの、および、河川水の底層を掃流されてきた比較的沈降速度の大きな粒子が塩水楔の先端付近で塩水楔内に飛び込んでとどまるものがあり、これが底質への沈降とバランスしているものと考えられる。しかし、

それらの各輸送量がどの程度であるのか、それらの比が上層水の滞留時間、潮流による上下混合の強さの違いによってどう変化するのかなどについてまだよく知られていないようであり、実態調査がまず何よりも必要ではないかと思われる。

なお底質の分布に関しては河床・河岸地形と河川の流量変動の効果が非常に大きいことに注意する必要がある。七北田川や相模川のような河川の河口付近の底質は、波浪や比較的大きな潮流による巻き上げのために砂質となっている。巻き上げられた砂は河川内に運ばれても、流速が間もなく小さくなるため沈殿し、そこに砂質のシルをつくる。波による海浜域の漂砂が潮流・河川流によるフラッシング効果に比べて大きい時には河口が狭まり、時には閉塞するまでになる。河口閉塞を防止するためにこのような河口には通常導流堤が設けられている。七北田川の場合には河口から上流にかけて、鉛直に平均水深程度、流下方向に数100mの規模で凹凸が著しく、窪みの部分には常に細泥（へどろ）が溜っている。増水時には大きな窪み部を除き、塩水楔と河床の底泥は海にフラッシュされる。増水が終わって塩水楔の遡上が回復すると、再び底泥の堆積が始まる。

4. 底生生物の分布

河口域は塩分等の変動幅が大きいため、生息する生物の種類数は少ない。しかし、塩分の変動に適應できる汽水種のヤマトスピオやゴカイ、カニ等の種にとっては、有機物・餌料生物が豊富であるので個数は著しく多く、生産力は大きい。塩水楔の先端付近と相対的に深い窪みの部分には底泥が溜りやすく、かつ、海水交流が悪いため平水量時・低水量時には、貧酸素化する。このため、窪みの部分は有機物が多いにもかかわらず底生生物は少なく、それに代わって、嫌気性バクテリアが繁殖する。ただし河口付近の窪みについては、上げ潮時に毎回新しい水が入ってきて溶存酸素を補給できるので餌の豊富さとあいまって生産性は極めて高い。より上流部の窪みにおいても、もし、水車等の自然力を使った底層へのエアレーションが可能ならば水質は改善が可能になるものと想像される。

貝類の分布を見ると、シジミ、アサリ、ハマグリ等が多いが、シジミは汽水域でも比較的低塩分で泥質ないし砂泥質の部分に繁殖し、アサリとハマグリは河口部の比較的高塩分で砂泥質ないし砂質の部分に繁殖する。その中でも、ハマグリとアサリとはそれぞれより低塩分、より高塩分の所に住みわかれていた。これらの分布に対する、浮遊卵稚仔の輸送拡散、減耗の機構、および、着底

後の生存に対する塩分、底質、水深、溶存酸素等の制限要因を調べるための調査・研究は最近注目されつつあるが、要因が複雑であるため、定量的な解析は容易ではないようである（中村, 1979）。

3. 河川感潮域の水利

この章では、流体力学・海洋物理学を基礎として、前述の物質の輸送過程に関連する流れや混合および塩分・水温の分布の構造について論じる。

1. 塩水楔の形状

塩水楔は河川への海水の遡上の形状（図1）に対する最も単純化された力学的モデルの名称である。塩水層に対する流下方向の力の平衡から見ると、水面の勾配と上層の淡水が下層水を引きずり出そうとする作用とその結果生じた内部境界面の傾きによる圧力勾配および、水面の傾きによる圧力勾配の3者が釣り合う形で各場所の内部境界面の勾配が決まる。従って、河口で上層の厚さが与えられれば、内部境界面のこの勾配を上流に向かって積分することによって、各点の上層の厚さが求められる。ところで、河口での上層の厚さは内部フルード数が1になるように、すなわち河口での密度躍層の階段的变化が定常に維持されるように、河川水と海水との密度差（これは通常一定に近い）と河川流量との函数として決まる（SUGIMOTO *et al.*, 1978）。結果だけを式で表わすと次のようである

$$kx^* = \frac{3}{4}F^{2/3} - \frac{3}{10}F^{4/3} - h_1^* + \frac{1}{2}h_1^{*2} + \frac{1}{4}F^{-2}h_1^{*4} - \frac{1}{5}F^{-2}h_1^{*5}$$

ただし、 $x^* = x/H$, $h_1^* = h_1/H$, $F = Q^2 / (4\rho/\rho g H^3 B^2)$ であり、 x は河口から上流向きの距離、 H は代表水深、 h_1 は上層の厚さ、 Q は河川流量、 B は川幅、 ρ は河川水の密度、 4ρ は海水と河川水との密度差、 g は重力加速度、 k は内部境界面の摩擦係数である。

大局的な形状はほぼこのように決まる。そこで、 h_1^* を求める問題の精度は内部境界面における運動量交換過程を物理的に解明して、内部摩擦係数 k を如何に合理的にパラメーター化するかということになる。1960年頃には土木工学分野の水利研究者が主としてパラメタリゼーションの問題に精力的に取り組んだのであった。しかし、風波に関する研究が単に風による界面応力の摩擦係数の決定の問題に終わらず、発生・発達・崩れの機構等の問題として取り組まれ未だ完成していないように、この淡

塩二層流の内部波と混合の理論的研究もそれ程簡単に進むものとは思えない。今後の研究課題といえよう。

現実の河口域では潮汐・潮流・地形の効果が重なっていて複雑である。摩擦係数・混合係数が現実に応用できる精度を持つためには、少なくとも潮流の効果等を考慮した修正が必要であろう。

なお、河床の横断面構造や流下方向の凹凸、河口閉塞などの地形効果を考慮した塩水楔の解析は中村ら(1966)や杉本ら(1978)によって行われた。しかし、河口条件そのものに対する河口地形(閉塞やシル、導流堤)および潮汐・潮流の効果については、研究はまだ十分になされていない。

2. 塩水楔内の鉛直循環と二次流

塩水楔の形状を論じる上述のモデルでは、下層を均質な海水層として取り扱った。内部境界面における摩擦(運動量の交換)や物質の交換を問題にするさいには流速や物質の鉛直分布を知ることが必要となる。一潮時平均した流速の鉛直分布は、水深が流下方向にも横方向にも一樣な場合、大雑把には放物線型で近似できる。境界層で乱れが小さくなることを考慮するともう少し階段的に変化する分布となる。

塩水楔内の水質や底質、底生生物の分布を問題にする場合には、もう一段細かな内部の流れと混合を知る必要がある。その一環として、横断面内の水深の変化をも考慮した縦断面内の鉛直循環流の構造がこれまでも少なからず研究されてきている(上嶋ら, 1979; DYER, 1973)。潮差が水深に比べて小さくない河川特に潮間帯域では潮位と流れとの位相差が摩擦の効果で 90° からはずれると、質量輸送としての潮汐残差流が表われる(杉本, 1974)。しかし、その実態や物質輸送に果たしている役割は具体的によくわかっていない。

ところで、先にも述べたように、底質や底生生物は流下方向に分布があるだけでなく、横断面内でも中央の深い部分と両脇の浅い部分とでは分布は大きく異なる。それは底面が海水あるいは淡水におおわれる時間的割合が明らかに異なることから理解できる。また、直線的な流路の河川敷内でも、その中で河道が蛇行し蛇行流の内側に向う底層流が底質を運ぶこともよく知られた現象である。このような横断方向の非対称性と対応して、底質の分布も異なる。二層流の場合のわん曲流路部の底層では、深い方に向う横断流が出るという研究もある(DYER, 1973)。しかし、内側の浅い部分での上下混合が大きい場合には横断面内において表層と底層で浅い方に向い中層で深い側に向う新たな密度流の発生することも考えら

れる。

なお、河川の下部には入江のような形で幅が拡がり、そこでは河川水およびその中の物質が多少の増水時にも滞留する傾向が見られる。これらのことを含めた二次流・横断面内の物質輸送の実態調査は生態系に関する物理的環境研究の中では今後の重要な研究課題のひとつといえよう。

3. 潮汐・潮流と潮流による混合

河川を上流向きに遡上する潮汐は、水深に比べて潮差が大きいため、段波をなすことは古くからよく知られている(野満ら, 1959)。近年は、河口から数 km 上流に堰が建設されることが多いが、この場合には潮汐は定常波の形をとるようになり、かつ一般に波長に比べて河口堰までの距離は短いので外側の潮位に追隨して昇降する。断面平均の流速は連続式から簡単に求められる。

しかし、もう少し詳しく見ると、上げ潮の時間は下げ潮の時間に比べて短い。また、密度流としての鉛直循環流が加わるため、底層の流速は上げ潮時に速くて下げ潮時には遅くなる。そのため、上げ潮時には下げ潮時に巻き上げられないものまで巻き上げられ、上流側に運ばれる(DYER, 1972)。この種の一方的な輸送は底質の輸送と分布に極めて重要である。

潮流の効果のもうひとつの重要な役割は、内部境界面の攪拌であろう。内部境界面を通しての鉛直混合に及ぼす潮流の効果に関して、これまでいくつかの報告があるが、混合が盛んとなる機構および潮時はエスチュアリーによって異なるようである(早川ら, 1978; 花輪ら, 1980; PARTCH *et al.*, 1978)。これらの差異を統一的に位置づける考察の作業や塩分の鉛直分布の弱混合型から緩混合型への遷移過程に関する研究などは今後に残されている興味深い問題である。

潮汐による塩水楔の先端付近における流れと淡塩水の混合、および底層浮遊物の動きの実態についてももう少し詳しい調査が必要であろう。

4. 河川流量変動への応答

塩水楔の形状は河川流量の変動に比較的速く(内部波の速度で伝わるので)2, 3時間の内に応答するため、これまでは準定常的なものとして取り扱われることが多かった。しかし、塩水楔内の水質や底質・底生生物のための環境を問題にする場合には塩水楔内の海水交換の機構と大きさを明らかにしておくことが必要である。

七北田川の塩水楔部について塩分の日々の変化の観測結果の解析を試みたところ、海水交換の実体は鉛直循環流と鉛直混合(主に潮流によるものと想像される)の結

合した鉛直シア分散効果と考えてよさそうである。これから推算される交換（滞留）時間は平常流量の時で数日程度である。渇水時には、塩水楔は長くかつ流速は遅くなるので滞留時間ははるかに長くなる。言いかえれば、交換はほとんど起らない。増水時には塩水楔そのものを押し出してしまふ。今後は、栄養塩や溶存酸素等の経日変化の資料から物質循環や生物生産の解析を行い、それらに及ぼす河川流量変動の攪乱効果の意義を明瞭にする必要があると考えている。

最近ではダムや河口堰によって大量の河川流量が取水され、大洪水もなくなっている。長期的に見て河口域の底質や地形はこれらによってどのように変わるものであるのか、生態系の保全のためにはどのような流量の制御が望ましいのか等について議論できるためにも、流量変動への応答の基礎的研究を進める必要があろう。

4. おわりに

河口域の生態系の中の物理的環境について、最近感じてきた調査研究の諸課題を指摘しつつ論述した。以上述べたように、今後に残された研究課題は、出水に伴う懸濁物質や底質の間欠的な輸送や潮流に伴う乱れ・混合などの「非定常な現象」と、河岸境界域（潮間帯）・窪み・塩分躍層・楔先端付近における懸濁物質の挙動や河口条件などの「局所的な現象」であるといえよう。水温・塩分・流動とともに不十分ながらも濁度等を指標として、この種の現象の実態把握を進展させたいものである。また、時間的な変化を日単位で把握するために、全国の各河川の中流域に自治体が設置している水質の自動測定室を、せめて代表的な河川だけでも、河口域（塩分侵入域）に設置して欲しいものである。

これらの観測と並行して、河口域全体の1カ月平均の規模で考えた場合の物質循環の中でこれらの諸過程が占める役割を検討し、河口域の浄化機能を評価できるような、河口域の物質循環のシステムモデルを準備することも重要であらう。

以上、河口域における今後の環境調査・モニタリングを再検討する際に参考になるところがあれば幸である。本文では対象を塩水楔型の河口域の河川内に限ったが、河口周辺域については機会を改めて論じたいと思う。

最後に、仙台市七北田川河口域の環境の共同研究を通して有益な御助言をいただいた、東北大学理学部生物学教室の栗原康教授と菊地永祐助教授、物理環境の観測と解析において協力して下さっている同地球物理学教室の花輪公雄君に心からお礼申し上げる。また、本文の原稿

を執筆中御議論下さった東京大学海洋研究所の平野敏行教授にお礼を申し上げたい。

引用文献

- DYER, K. R. (1972) Sedimentation in Estuaries, in The Estuarine Environment, ed. by BARNES R. S. K. and J. GREEN, Applied Science Publishers London, 10-32.
- DYER, K. R. (1973) Estuaries, a Physical Introduction, John Wiley & Sons, New York, 1-140.
- 花輪公雄・杉本隆成 (1980) 塩水楔境界面における微細物理過程および河口域内の濁度分布について、仙台湾海岸域における環境機能とその保全に関する研究発表会講演資料。
- 早川康博・平野敏行 (1978) 相模湾河口環境調査。水産海洋研究会報, 32, 92-100.
- 北野 康・加藤喜久雄 (1970) 元素の地球化学的収支から見た沿岸海洋。沿岸海洋研究ノート, 8(2), 22-32.
- 小泉清明 (1967) 長良川河口堰と水産, 調査の概要と問題点, 沿岸海洋研究ノート, 6(1), 2-7.
- 栗原 康 (1980) 干潟は生きている。岩波新書, 219pp.
- 中村 宏・稲松敏夫 (1966) 神通川河口の塩水楔について。第13回海岸工学講演会論文集, 295-301.
- 中村 充 (1979) 水産土木学。工業時事通信社, 508pp.
- 野崎隆治・瀬野錦蔵 (1959): 新河川学。地人書館, 348 pp.
- PARTCH, E. N. and J. D. SMITH (1978) Time Dependent Mixing in a Salt Wedge Estuary, Estuarine and Coastal Marine Science, 6, 3-19.
- 相模湾水産振興事業団 (1977) 相模川河口域環境調査報告書, 144 pp.
- SAKAMOTO, W. (1968) Study on the turbidity in estuary (II) observations of coagulation and settling processes of particles in the boundary of fresh and saline water, Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 18, 317-327.
- 杉本隆成 (1974) 内湾における陸水の分散・流出過程。沿岸海洋研究ノート, 12(1), 47-55.
- SUGIMOTO, T. and M. TANIYA (1978) Effects of boundary geometries on the intrusion of the salt wedge (1) Numerical experiments and field observations, Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys., 25, 71-82.
- 鷺見栄一 (1978) エスチュアリーにおける懸濁物質の浮遊機構 (3), 第25回海岸工学講演会論文集, 576-580.
- 東海区水産研究所など (1980) 内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究。昭和54年度研究成績報告書, 197 pp.
- 上嶋英織・早川典生・国司秀明 (1979) 感潮河川における物質輸送の機構について (第2報), 第26回海岸工学講演会論文集, 623-627.