

(11) 感潮部における底質の季節変化に関する研究 — 旭川感潮部を例として —

STUDY ON THE SEASONAL VARIATION OF SEDIMENT COMPOSITION
IN AN ESTUARY : A Case Study in the Asahi River Estuary

河原長美*・角田典基**・西内康裕*・土屋善浩***

Osami KAWARA*, Norimoto SUMIDA**, Yasuhiro NISHIUCHI*, Yoshihiro TSUCHIYA***

ABSTRACT ; Estuaries play an important role in the transport system of pollutant loads. The purposes of this study, as the first step toward clarifying the pollutant transport mechanism, are to determine the characteristics of the seasonal changes of surface sediment composition in estuaries and to predict the changes. The Asahi River estuary, Okayama prefecture, was selected as the study area and the sediment composition has been measured for over three years at intervals of two or three weeks.

The main results are as follows. The remarkable seasonal variations in the particle size distributions and the concentrations of the constituents are found. The sediment size is finer from spring to summer and coarser from autumn to the following spring. Therefore, the concentrations of the constituents are higher from spring to summer and lower from autumn to the following spring. These changes are caused by floods. When fine particles are dominant, many organic particles from 100 μ m to 300 μ m are found. Using a numerical simulation, factors affecting sediment size distributions are investigated.

KEYWORDS ; Asahi River estuary, Sediment composition, Seasonal variation, Observation, Numerical simulation

1. 緒 論

都市河川感潮部に堆積している底泥は、多量の汚濁物を含み、感潮部の水質汚濁に大きな影響を与えているだけでなく、汚濁物質を輸送する主たる媒体の一つでもあり、底泥の挙動を明らかにすることは、重要な課題であると考えられる。

感潮部における底泥は、河川上流部からの淡水の流入や潮汐作用の影響を受けて、各種汚濁成分との相互作用を伴いながら、巻き上げ、流送、沈殿などを繰り返しており、その挙動はきわめて複雑である。そのため、底泥の挙動ならびに底質の変化に関しては、未解明な部分が多く残されている。

筆者らは、比較的長期的な底泥の挙動ならびに底質の変化に着目し、旭川感潮部を対象水域として、検討を加えてきている^{1), 2)}。この結果、旭川感潮部の底質には顕著な季節変化が存在し、春季には出水を契機として細粒度化するとともに各種成分濃度も高くなり、夏季に出水を契機として粗粒度化し、この状態が翌年の春季まで継続する傾向の存在することが判明してきた。なお、ここで、細粒度化もしくは粗粒度化とは、河床表層部数 cm の粒度が細くなることもしくは粗くなることを意味している。

しかしながら、以上の現象は一般的に認められているとは言いがたく、また、季節変化のパターン、底質変化の要因ならびに底質変化の大きさの諸点に関しては、疑問の余地も残されていた。そこで、現象の再現性の確認と底質変化のより詳細な把握のためにさらに調査を継続し、従来の調査結果と合わせて総合的に考察を加えるとともに、底質変化の要因について数値シミュレーションにより検討を加えたので、その結果について報告する。

*岡山大学 Okayama University, ** パシフィックコンサルタンツ株式会社 Pacific Consultants Co., Ltd., *** 応用地質株式会社 Oyo Corporation

2. 調査方法および分析方法

旭川感潮部は、緩混合的であり³⁾、河口より約7.9 km上流に位置する新堰により区切られている。新堰より上流側は人為的汚濁が少なく比較的清澄であるが、感潮部には下水処理水や工場廃水の流入もあり、清澄とはいえない状態にある。

採泥地点は、Fig. 1に示されるPoint 1～3の各地点であり、Point 2とPoint 3とは、同一断面内における左岸側（流心付近）と中央部左岸側に位置し、横断方向の場所の相違に起因する河床構成材料の変化の相違を検討するために設定されている。なお、Point 1は河川中央部の流心付近に設定されている。

採泥間隔は、水流量や生物の消長による底質変化を把握するために十分な期間として、2～3週間とした。調査は現在も継続中であるが、本研究で検討を加えるのは、1981年10月から1984年12月までの3年余の調査結果である。採泥には、主としてエクマンバジ採泥器を用い、採取された底泥の表層部1～2 cmを試料とした。なお、粒度が粗い場合には、十分な採泥ができない上に、上下層の区別がつかないので、全体を混合して分析に供した。また、回数は少ないが柱状採泥器も用いて採泥を行っており、エクマンバジ採泥器による採泥結果と矛盾しない結果が得られている。

底質の分析項目は、粒度（フルイ分け法とビベット法の併用）、強熱減量（600℃で2～3時間強熱、以後ILと表記する）、COD（底質調査法（環水管120）準拠）、全窒素および全リン（浮田ら⁴⁾による方法に準拠、以後TNおよびTPと表記する）、ならびに重金属（Cu, Zn, Pb, Mn, NiおよびFe、原子吸光法）である。なお、分析に供する前に、採取された底泥中に含まれる小石、貝殻等を除き、3000 rpmで20分間遠心分離しておいた。

3. 解析方法

本研究では、感潮部における底泥の粒度変化に影響を及ぼす要因に関して、数値シミュレーションにより検討を加えた。ここでは、調査結果より推測される各種要因の影響を検討する事を目的としているので、旭川を想定しつつも、より単純化した鉛直2次元水路を取り上げ検討を加えた。なお、本シミュレーションでは、河床構成材料およびSSを、粒径50 μmを基準にして2分し、粒径の大きい場合を砂として、粒径の小さい場合を底泥として、それぞれ異なる取り扱いを行った。

3. 1 基礎式

（A）運動方程式および連続の式

鉛直2次元的に現象を解析するので、河川横断方向の流速 v を無視して次の各式を用いた。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u(\frac{\partial u}{\partial x}) + w(\frac{\partial u}{\partial z}) = -(1/\rho)(\frac{\partial P}{\partial x}) + (1/\rho)(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g = 0 \quad \text{---(2)}, \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{---(3)}$$

なお、密度に関しては次の式を用いた。

$$\rho = P_0 / (\delta + \epsilon P_0) \quad \text{---(4)}, \quad \epsilon = 0.6980 \quad \text{---(5)}$$

$$P_0 = 5890 + 38.0 T - 0.375 T^2 + 3.0 S \quad \text{---(6)}$$

$$\delta = 1779.5 + 11.25 T - 0.0745 T^2 - (3.80 + 0.01 T) S \quad \text{---(7)}$$

ここに、 ρ ；密度（g/cm³）、 T ；水温（℃）、 S ；塩分濃度（‰）である。

（B）SSおよび塩分の拡散方程式

前述したように、本シミュレーションでは粒径に基づいて砂と底泥とに分類しており、砂は流砂量式に従って輸送され、底泥は拡散方程式に従って輸送されるとした。しかしながら、出水時における海老瀬⁵⁾

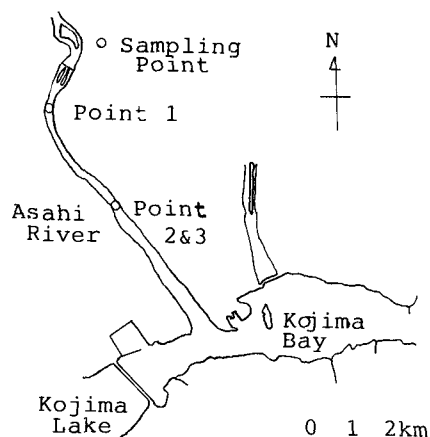


Fig. 1 Sampling Point

らの観測結果によれば、 $150\mu\text{m}$ 程度までの粒子がSSとして存在しうるので、上流境界から流入するSS中の砂については、一度河床に沈降するまでは拡散方程式に従って輸送され、沈降後は流砂量式に従うとした。

SSについては、次の式を用いた。

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + u \frac{\partial C_i}{\partial x} + w \frac{\partial C_i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + w_{pi} \frac{\partial C_i}{\partial x} \quad \text{---(8)}$$

なお、上式中の沈降速度 w_{pi} については、鉛直下方向を正としており、ストークス式もしくは次に示す川名ら⁶⁾の実験式を用いた。

$$w_{pi} = 1.39 d_i^{0.98} \quad (\text{c.g.s 単位}) \quad \text{---(9)}$$

塩分については、次の式を用いた。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad \text{---(10)}$$

(C) 河床の連続式

河床の連続式ならびに次項で述べる粒度組成の変化式に関しては、平野の式⁷⁾を底泥を含めた場合に拡張して用いた。なお、簡単のため、交換層の厚さ a ならびに交換層の間隙率 λ の時間変化はないとした。

(1) 河床上昇の場合

$$\partial z_b / \partial t = -\{1/(1-\lambda)\}(\partial q_B / \partial x) + F/(1-\lambda) \quad \text{---(11)}$$

q_B , F はそれぞれ流砂量および底泥の沈降もしくは巻き上げによる流束を表わしており、 q_B に関しては、芦田・道上の式⁸⁾を採用した。

$$q_B = \sum q_{Bi} \quad \text{---(12)}$$

$$q_{Bi}/i_b u_* e d_i = 17 \tau_* e i (1 - \tau_* c_i / \tau_* i) (1 - \sqrt{\tau_* c_i / \tau_* i}) \quad \text{---(13)}$$

$$u_* e = u / \{6.0 + 5.75 \log \{R/dm(1 + 2\tau_*)\}\} \quad \text{---(14)}$$

$$\tau_* e i = u_*^2 e / (\sigma/\rho - 1) g d_i \quad \text{---(15)}$$

$$\tau_* i = u / (\sigma/\rho - 1) g d_i \quad \text{---(16)}$$

$$\tau_* c_i = u_*^2 c_i / (\sigma/\rho - 1) g d_i \quad \text{---(17)}$$

$$u_*^2 c_i / u_* c_m = \begin{cases} \{ \log 19 / \log (19 d_i / dm) \}^2 d_i / dm & (d_i / dm \geq 0.4) \\ 0.85 & (d_i / dm < 0.4) \end{cases} \quad \text{---(18)}$$

$$u_*^2 c_m / (\sigma/\rho - 1) g dm \cong 0.05 \quad \text{---(20)}$$

また、底泥の沈降もしくは巻き上げによる流束については、河床低下の場合も含めて次の通りである。

$$F = \sum_i f_i / \sigma_i \quad \text{---(21)}$$

$$f_i = \begin{cases} w_{pi} c_{ib} & (\text{沈降の場合}) \\ -\alpha (\tau_b / \tau_c - 1) \beta_{ib} & (\text{巻き上げの場合}^9) \end{cases} \quad \text{---(22)}$$

$$f_i = \begin{cases} w_{pi} c_{ib} & (\text{沈降の場合}) \\ -\alpha (\tau_b / \tau_c - 1) \beta_{ib} & (\text{巻き上げの場合}^9) \end{cases} \quad \text{---(23)}$$

なお、式(22)と式(23)では、沈降の場合と巻き上げの場合とに分類しているが、これは、河床上昇する場合であっても底泥は沈降しない場合がありうるからである。

(2) 河床低下の場合

ここで用いる q_B , F も、河床上昇の場合に述べたのと同じである。

$$\partial z_b / \partial t = -\{1/(1-\lambda_0)\}(\partial q_B / \partial x) + F/(1-\lambda_0) \quad \text{---(24)}$$

(D) 粒度組成の変化式

前述した平野は、河床表面に砂粒が出入りするごく薄い層(交換層)を仮定し、この層厚 a を導入している。底泥を含めて解析する際には、この概念を無修正で適用できるかどうかには疑問が多いので、ここでは底泥が卓越する場合には、粒度組成をほぼ均質とみなしうる層厚という意味で用いる。

(1) 河床上昇の場合

$$\frac{\partial i_b}{\partial t} - \frac{i_b}{a(1-\lambda)} \frac{\partial q_B}{\partial x} + \frac{F i_b}{a(1-\lambda)} = - \frac{1}{a(1-\lambda)} \frac{\partial (q_B i_B)}{\partial x} \quad (\text{砂について}) \quad \text{---(25)}$$

$$= f_1 / \{ \rho_1 (1-\lambda) a \} \quad (\text{底泥について}) \quad \text{---(26)}$$

(2) 河床低下の場合

$$\frac{\partial i_b}{\partial t} - \frac{i_{b0}}{a(1-\lambda)} \frac{\partial q_B}{\partial x} + \frac{F i_{b0}}{a(1-\lambda)} = - \frac{1}{a(1-\lambda)} \frac{\partial (q_B i_B)}{\partial x} \quad (\text{砂について}) \quad \text{---(27)}$$

$$= f_1 / \{ \rho_1 (1-\lambda) a \} \quad (\text{底泥について}) \quad \text{---(28)}$$

3.2 計算方法

本研究のシミュレーションにおいては、差分法を用いた。流動、塩分およびSSのシミュレーションにおいては、Leendertseら¹⁰⁾と同様に、Fig. 2に示すようなStaggered-gridを用い、粘性項および拡散項はオイラー法で、対流項および移流項はリーブ・フロログ法で、それぞれ差分表示した。また、河床変化および粒度変化の式に関しては、後退差分¹¹⁾を用いた。なお、平均海面は、初期河床より6mの高さにあるとし、それを3等分する点を $z_{3/2}$ および $z_{5/2}$ とした。また、水位 ζ は平均海面より、河床高 z_b は初期河床より、それぞれ測定するものとした。その結果、各層厚は上層より順に $h_1 + \zeta, h_2, h_3 - z_b$ となる。

本研究で用いた諸係数ならびに境界条件は次の通りである。

(A) 諸係数

渦動拡散係数および渦動粘性係数については、水平方向に関しては、ともに $10 \text{ m}^2/\text{s}$ とした。鉛直方向については、両者の取り扱いが異なり、渦動拡散係数については、 $D_z = D_0 e^{-3Ri}$ とした¹²⁾。また、粘性項については、渦動粘性係数を用いる表現ではなく、次式で示されるせん断応力の表現を採用し、 γ_1, γ_b として、

$$\tau_1 = \rho \gamma_1^2 \Delta u |\Delta u| \quad \text{---(29)}$$

$$\tau_b = \rho \gamma_b^2 u_b |u_b| \quad \text{---(30)}$$

0.03および0.051をそれぞれ用いた。

(B) 境界条件

上流端境界については、次の通りである。水理量に関しては、上流境界に貯水池を接続させて、上流境界で質量保存則が成立するとした。SSとして流入する粒子については、 $C_1 = a_c Q^{bc} p_1$ で表わし、 p_1 の値については、海老瀬ら¹³⁾の観測結果を参考にした。

下流端境界については、次の通りである。水位に関しては、正弦関数で与えた。流速、塩分、SSについては、順流の場合は境界内側の値を与え、逆流の場合は境界外側の流速を零とし、塩分、SSについては、一定値に漸近する関数を与えた。水理条件をこのように置くことは、水位変化のみが生じる十分広い水域が下流境界に接続してい

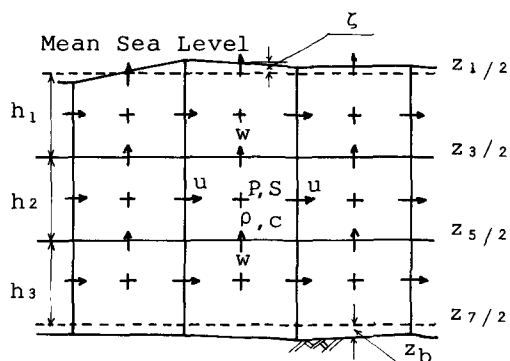


Fig. 2 Computational Grid

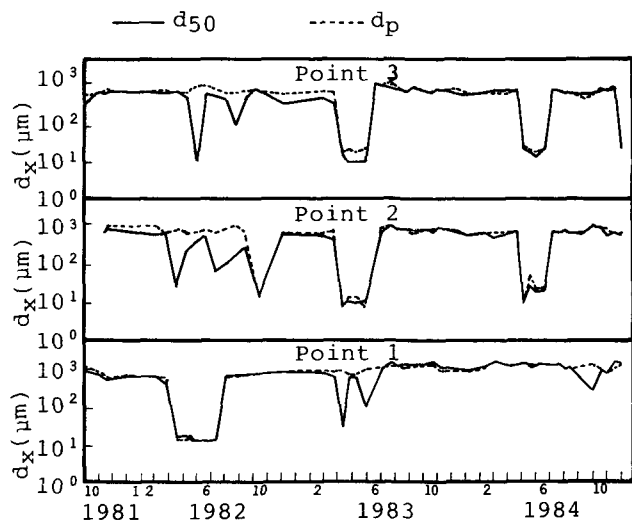


Fig. 3 Seasonal Variations of d_{50} and d_p

ることに相当する。

4. 調査結果と考察

4. 1 粒度組成の季節変化

観測結果の整理においては、粒度組成の代表値として、中央粒径（以後、 d_{50} と表わす）、粒径頻度分布曲線における最高ピークに相当する粒径である最大頻度粒径（以後、 d_p と表わす）、および粒径 $74\ \mu\text{m}$ もしくは $10\ \mu\text{m}$ 以下の粒子の重量百分率（以後、 P_{74} もしくは P_{10} と表す）を取り上げて、粒度組成の季節変化を検討した。なお、ここでの検討の対象は、河床表層部 $1\sim 2\ \text{cm}$ の部分である。

Fig. 3 に、 d_{50} および d_p の変化を各地点ごとに示す。 d_{50} ならびに d_p は、冬季には変化が小さいが、それ以外の季節には予想外に大きな変動が認められる。4月～6月は微細粒子が卓越し、秋季から翌年の春季までは粗粒子が卓越する。3年余の観測において、年度によって相違も認められるが、ほぼ同様な傾向が認められることから、このような粒度組成の変動は、少なくとも旭川の感潮部については、特異な現象ではないと考えられる。

d_{50} ならびに d_p の変化は、漸变的ではなく、2～3週間の調査間隔内に生じる比較的すみやかな現象である。 d_{50} と d_p との変化の仕方は必ずしも同じではなく、 d_{50} の方が変動が大きい。このように d_{50} だけが変化する場合、底泥を構成している主要な粒度成分にはさほど変化がなく、微細粒子が増加することにより d_{50} が小さくなったものと考えられる。

粒度変化の要因は必ずしも明らかではないが粗粒度化ならびに細粒度化には必ず流量の増加もしくは流量のピークが認められる。この様子を Fig. 4 に示す。一定の時季の流量の増加が細粒度化を引き起こし、微細粒子が卓越している状態下での流量の増加が粗粒度化を引き起こす傾向が認められる。なお、上流の Point 1 では、年々粒度変化が小さくなっているが、下流の Point 2 および Point 3 では、1982 年の場合を除けば同様な粒度変化を示している。

上述の粒度変化を、 P_{74} と P_{10} とを用いて検討すると、Fig. 5 に示される通りである。 P_{74} と P_{10} との変化は、 d_{50} や d_p の場合と同様にすみやかに

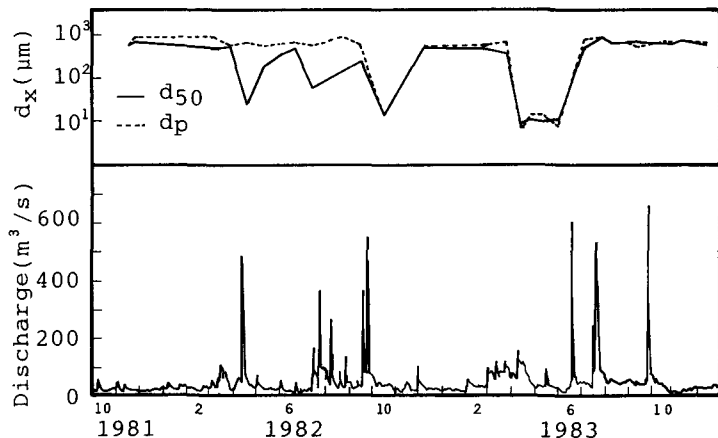


Fig. 4 Effect of Discharges on d_{50} and d_p at Point 2

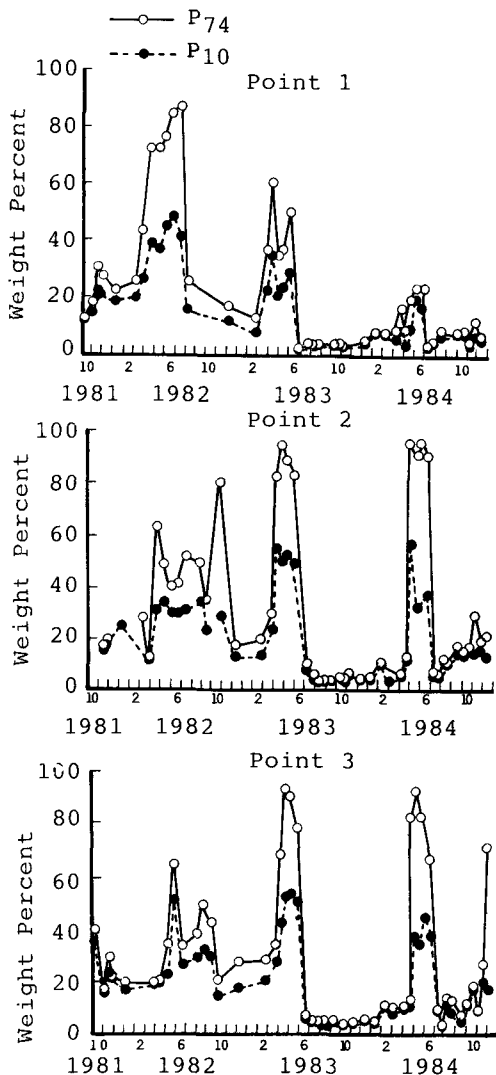


Fig. 5 Seasonal Variations of P_{74} and P_{10}

生じる。Point 2やPoint 3においては、細粒度化した場合には、 P_{74} は90%を越えることもあり、その場合、 P_{10} は50%前後にも達する。なお、 P_{74} と P_{10} とからも、Point 1では粒度変化が小さくなってきており、1982年の変化は他の年と異なることがうかがえる。

次に、細粒度化の前後で粒度構成がどのように異なるかを検討する。Fig. 6に、1984年のPoint 2での観測結果を示す。細粒度化前では、300~1000 μm の粒子が卓越しているが、細粒度化により、10 μm 以下の粒子が最も多くなり、粗粒度化後は再び300~1000 μm の粒子が卓越するようになる。このように、微細粒子が卓越する場合の粒度構成は、その他の時期と比較して、全く異なっている。

4. 2 有機物ならびに栄養塩の季節変化

底泥に含まれるIL, COD, TNおよびTPの季節変化をFig. 7~Fig. 10に示す。各成分濃度の変化には、年度による相違も認められるが、春季に値が高くなり、冬季に値が低くなる傾向が認められる。このような変化は、粒度組成の変化と良好な対応を示す。しかしながら、粒度組成が類似している1983年と1984年とを比較すると、TNやTPでは濃度レベルに大きな相違が認められる。粒度組成と濃度との相関は高いが、粒度組成以外の因子も濃度変化に影響を及ぼしていると考えられる。

4. 3 重金属の季節変化

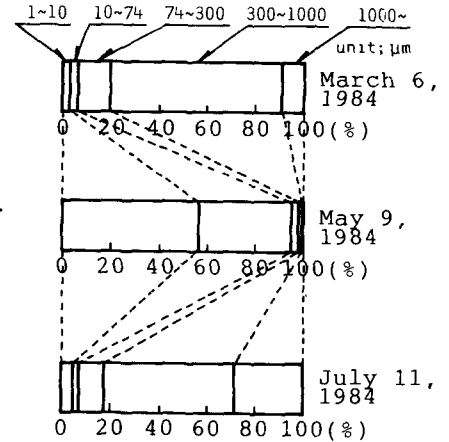


Fig. 6 Change of Particle Size Distribution at Point 2

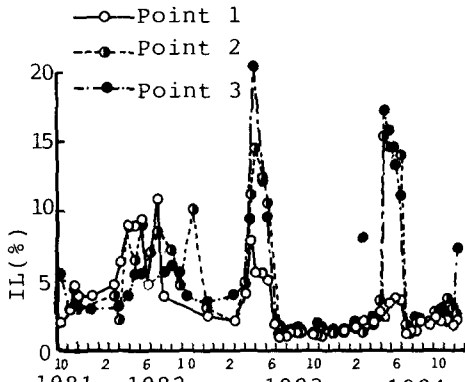


Fig. 7 Seasonal Variations of IL

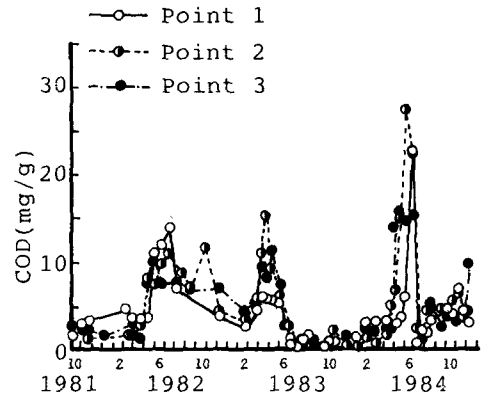


Fig. 8 Seasonal Variations of COD

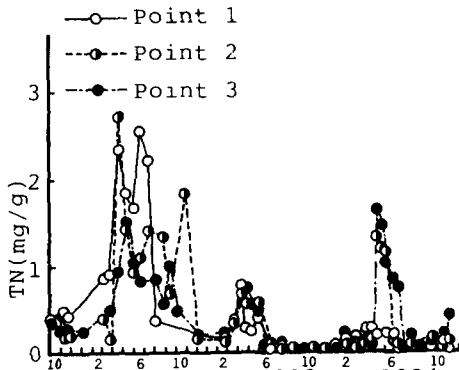


Fig. 9 Seasonal Variations of TN

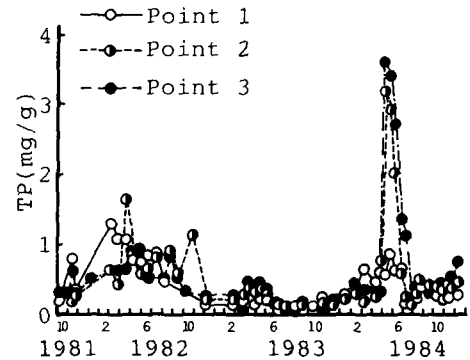


Fig. 10 Seasonal Variations of TP

Fig. 11～Fig. 16に、底泥に含まれる各種重金属濃度の季節変化を示す。季節変化のパターンは、各種重金属とも類似しており、これらの変化パターンは、1982年の複雑な濃度変化を含めて、前節で述べた有機物や栄養塩の場合と同様である。重金属濃度の変化についても、粒度組成の変化との対応が良好であり、粒径が小さくなる春季に濃度が高くなる。

4. 4 検鏡による底泥組成の季節変化の検討

細粒度化した場合に、底泥の組成がどのように変化するかを検鏡により検討した。粗粒度状態から細粒度化し、再び粗粒度化する過程における底泥組成の変化を、Photo. 1～Photo. 3に示す。

底泥組成には、視覚によっても把握しうる組成変化が生じており、細粒度状態を示しているPhoto. 2に

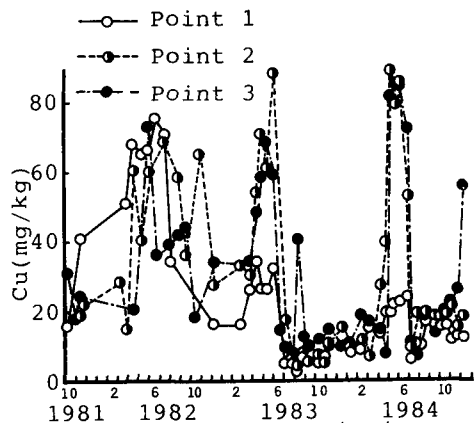


Fig. 11 Seasonal Variations of Cu

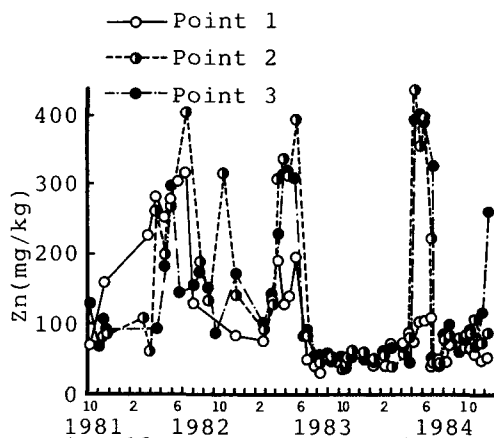


Fig. 12 Seasonal Variations of Zn

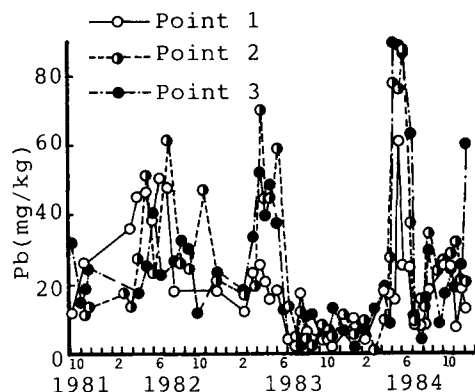


Fig. 13 Seasonal Variations of Pb

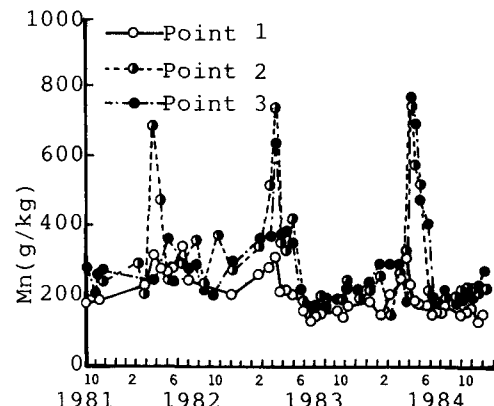


Fig. 14 Seasonal Variations of Mn

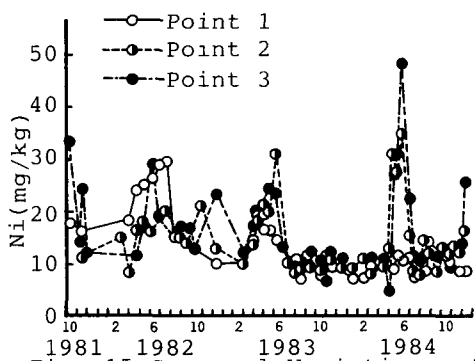


Fig. 15 Seasonal Variations of Ni

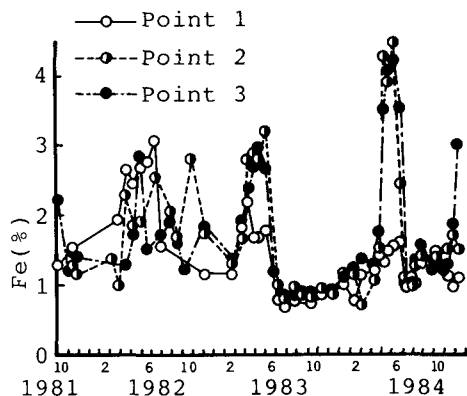


Fig. 16 Seasonal Variations of Fe

は、黒い大きな固まりが多数認められるが、これは $100\sim 300\mu\text{m}$ 程度の有機物塊である。これらの有機物塊は、粗粒度状態においては、わずかである。なお、有機物塊は、粒径は大きくても密度が小さいためにストークス径としては小さくなり、微細粒子と判定されていると推測される。

以上のように、細粒度状態と粗粒度状態とでは、河床構成材料の面でも相違が認められる。組成変化の季節性と考え合わせると、生物活動も粒度変化に関与している可能性が高い。

5. 数値シミュレーションによる検討

本研究では、粗粒度化する場合と細粒度化する場合とに分けて、それぞれの場合について粒度変化もしくは底泥堆積量の変化を検討した。

5. 1 粗粒度化のシミュレーション

1983年の観測データに基づいて、上流境界での流量が、 $38.1\text{ m}^3/\text{s}$ から $601.4\text{ m}^3/\text{s}$ に2日間で増大した後、 $149.6\text{ m}^3/\text{s}$ に再び減少する過程をシミュレートした。なお、流水断面積は、旭川感潮部の中央付近で約 700 m^2 程度であるので、上述の流量を700で除して、単位面積当りの流量とした。

シミュレーション結果の一例をFig. 17, 18に示す。粗粒度化の速度は、式(23)における τ_c , α , および β に大きく依存するが、Fig. 17, 18は、 τ_c が 0.1 N/m^2 , α , β のそれぞれが $0.0003\text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$ および1.7の場合である。上流端流量が $400\text{ m}^3/\text{s}$ 程度に達した時点から粗粒度化が顕著となり、 $400\sim 600\text{ m}^3/\text{s}$ の流量が流出する10時間程度で粗粒度化が完了し、以後ほとんど変化しない。最終的な河床の粒度分布は、観測結果と良好に一致するが、河床低下の場合には、粗粒度化後の観測結果が原河床の粒径分布として用いられているので、河床低下が十分進行した段階で観測値と一致するのは当然と言えよう。

以上のように、粗粒度化の過程に関しては、ほぼ妥当な結果が得られていると考えられる。

5. 2 細粒度化のシミュレーション

細粒度化の過程においては、微細粒子の供給源が必要とされるが、感潮部の河床表層部には微細粒子がほ

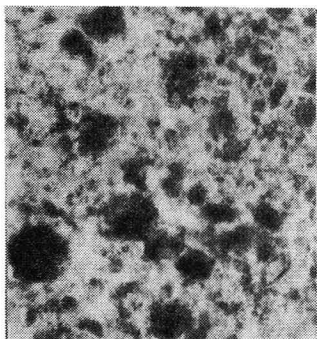


Photo. 1 Sediment on April 25, 1984

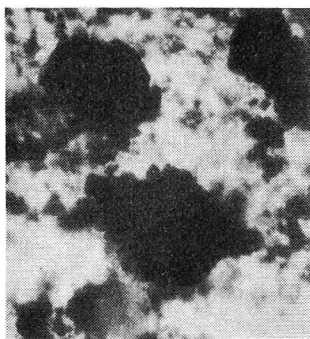


Photo. 2 Sediment on June 25, 1984

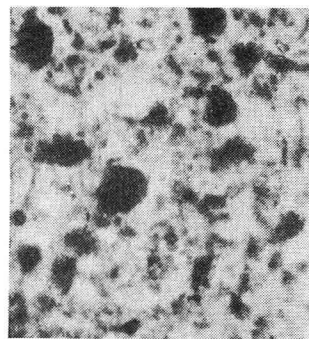


Photo. 3 Sediment on August 20, 1984

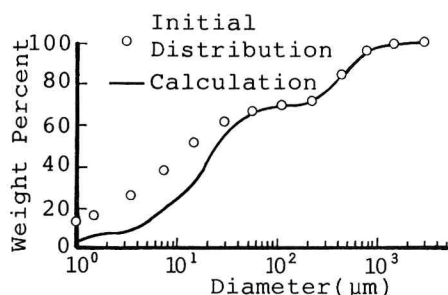


Fig. 17 Particle Size Distribution at the Location of 5km from River Mouth after 44hrs

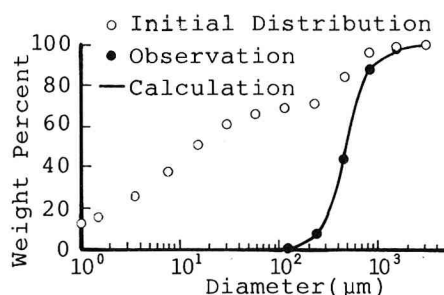


Fig. 18 Particle Size Distribution at the Location of 5km from River Mouth after 52hrs

とんど存在せず、かつ、上流部からのSSの供給も微細粒子の堆積が生じるような条件下では、さほど期待できない。そこで、上流側より供給されたSSと湾内に堆積している底泥の巻き上げにより、下流端濃度が高濃度になっていることを想定してシミュレーションを行った。なお、上流側からのSSの流入も当然ながら考慮している。

ここでは、下流端の上層、中層および下層の各層に、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下の一様分布した粒子群が 200 mg/l 、 300 mg/l および 400 mg/l 存在する場合を想定してシミュレーションを行った。

結果を、Fig. 19～22に示す。各図には、河口からの距離、上流端流量、沈降速度式および潮差を変化させた場合の、底泥の堆積量の変化が示されている。なお、変化させている因子以外は同じで、上流端流量 $40\text{ m}^3/\text{s}$ 、潮差 1.5 m で、ストークス式を用いた場合における、下流端より 2 km 地点での底泥の堆積量を基準としている。

ここで取り上げたすべての因子が底泥の堆積量に影響を及ぼすが、流量や沈降速度式の形などは、特に影響が大きい。しかしながら、堆積量については、5周期で 1 mm 程度の堆積量であり、2～3週間の間に数cm堆積する実現象との乖離は大きく、底泥やSSの物性、微細粒子の供給源と濃度などに関して、更に検討が必要とされる。

6. 結 論

本研究では、旭川感潮部における3年間余にわたる観測に基づいて、底泥組成の季節変化を考察するとともに、数値シミュレーションにより、粒度変化の要因について検討を加えた。得られた主要な結論は次の通りである。

- 1) 粒度組成ならびに底泥中各種成分濃度は顕著な季節変化を示す。春季には粒径が小さくなり、これに伴ない各種成分濃度は高くなる。春季以外は粗粒度の場合が多く、各種成分濃度は低い。
- 2) 粒度組成の変化は、流量の増加によって生じ、細粒度化は春季の増水時には限られている。また、細粒度化した状態下での増水は、粗粒度化を引き起こす。
- 3) 粗粒度化ならびに細粒度化は、比較的短期間に生じる現象であり、長くても2～3週間以内に生じると考えられる。
- 4) 細粒度状態においては、 $100\sim300\text{ }\mu\text{m}$ の有機物塊が多数認められ、粗粒度状態とは構成物質が異なる。
- 5) 本研究で示した基礎式により、粒度組成の変化をシミュレートし、各種因子の粒度分布に及ぼす影響を明らかにした。

以上、主要な結論を述べてきたが、観測より得られた結果は、少なくとも旭川感潮部においては、特異な現象ではないと考えられる。また、数値シミュレーションに関しては、細粒度化の過程の表現が不十分であるが、微細粒子の起源、濃度ならびに物性把握の不十分さが関係しているものと考えられるので、底泥の鉛直分布、SSの分布と物性に関して、今後、より詳細な検討を加える予定である。

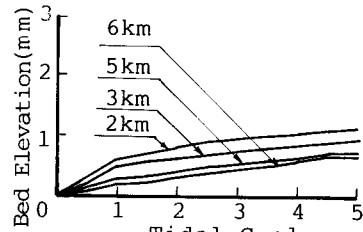


Fig. 19 Effect of Distance from River Mouth

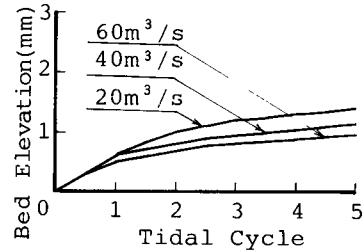


Fig. 20 Effect of Discharge

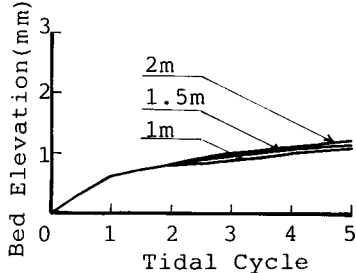


Fig. 21 Effect of Tidal range

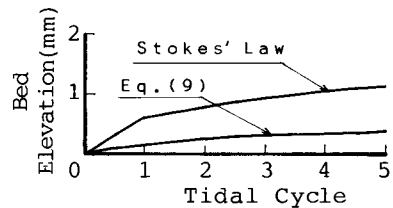


Fig. 22 Comparison of Stokes' Law and Eq.(9)

参考文献

- 1) 河原, 角田, 西内: 旭川感潮部における底質の季節変動, 水処理技術, Vol. 26, No. 6, pp. 27-34, 1985.
- 2) 西内, 角田, 河原: 旭川感潮部における底質の年間変動特性, 土木学会第39回年次学術講演会講演概要集第2部, pp. 745-746, 1984.
- 3) 河原, 名合: 旭川感潮部および児島湾における表面水質と鉛直平均水質の特徴, 水質汚濁研究, 第6巻, 第3号, pp. 1-10, 1983.
- 4) 浮田, 蔵重, 中西: 窒素, リン分析における種々の問題点について, 用水と廃水, Vol. 21, No. 2, pp. 18-35, 1979.
- 5) 海老瀬, 村岡, 大坪: 小河川における豪雨による浮遊物質流出量の定量化, 土木学会第25回水理講演会論文集, pp. 473-480, 1981.
- 6) 川名, 山岡, 谷本: 広湾における海底面近くの懸濁物質分布, 中国工業技術試験所報告, No. 1, pp. 51-60, 1976.
- 7) 平野宗夫: Armoringをともなう河床低下について, 土木学会論文報告集, 第195号, pp. 55-65, 1971.
- 8) 芦田, 道上: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp. 59-69, 1972.
- 9) 楠田, 海田, 粟谷, 石原: 底泥の巻き上げと沈降に関する基礎的研究(Ⅱ), 第18回衛生工学研究討論会講演論文集, pp. 152-159, 1982.
- 10) Leendertse, J. J. and Liu, S.: A Three-Dimensional Model for Estuaries and Coastal Seas, Vol. II, Aspects of Computation, The Rand Corporation, R-1764-OWRI, 1975.
- 11) 道上正規: 土砂収支と河床変動, 1982年度水工学に関する夏期研修会講義集, Aコース, pp. A-7-1 ~ A-7-23, 1982.
- 12) 10)と同じ
- 13) 5)と同じ

記号表

a : 交換層の厚さ	Q : 上流端から流入する流量
a_c : 定数	qB, qBi : 全流砂量および粒径 d_i の粒子の流砂量
b_c : 定数	R : 径深
C_i : 粒径 d_i のSSの質量濃度	Ri : リチャードソン数
D_x, D_z : x, z 方向の渦動拡散係数 ($10\text{ m}^2/\text{s}$)	S : 塩分濃度 (‰)
D_0 : 中立状態の渦動拡散係数 ($0.001\text{ m}^2/\text{s}$)	T : 水温 (20°C)
d_i : 第 i 区分の粒子の粒径	u : x 方向の流速
d_m : 河床構成材料の平均粒径	u_b : 最下層の流速
g : 重力加速度 (9.8 m/s^2)	Δu : 上下層間の流速差
i_B : 粒径 d_i の粒子が流砂中において占める割合	u_* : 河床の摩擦速度
i_b, i_{b0} : 粒径 d_i の粒子が, 交換層もしくは交換層直下の原河床において占める割合	$u_* c_i$: 粒径 d_i の粒子の限界摩擦速度
P : 水圧	$u_* c_m$: 平均粒径の粒子の限界摩擦速度
P_i : 粒径 d_i の粒子のSS中に占める割合	w : z 方向の流速
	w_{pi} : 粒径 d_i の粒子の沈降速度

z_b : 河床高	τ_{*ci}, τ_{*cm} : 粒径 d_i の粒子および平均粒径の粒子に関する限界掃流力の無次元表示
α : 定数 ($0.0003 \text{ kg/m}^2\text{s}$)	τ_{*i}, τ_{*m} : 粒径 d_i の粒子および平均粒径の粒子に関する掃流力の無次元表示
β : 定数 (1.7)	τ_{xx}, τ_{xz} : x 方向もしくは z 方向に垂直な平面内に働く x 方向のせん断応力
γ_i, γ_b : 内部および水底の抵抗係数 (0.03 および 0.051)	τ_c : 底泥に関する限界掃流力
ρ : 塩水の密度	λ, λ_0 : 交換層および原河床における間隙率
σ : 砂礫の密度 (2650 kg/m^3)	
σ_i : 粒径 d_i の底泥の密度	
τ_b : 河床に働くせん断力	