

(4) 旭川感潮部における底質の季節変化に関する研究 — 底質変化の速度と底質変化の及ぶ範囲 —

STUDY ON THE SEASONAL VARIATION OF SEDIMENT COMPOSITION
IN THE ASAHI RIVER ESTUARY : Rapidity and Extent of the
Seasonal Variation of Sediment Composition

河原長美*・西内康裕**・依藤正明*

Osami KAWARA*, Yasuhiro NISHIUCHI**, Masaaki YORIFUJI*

ABSTRACT ; We discussed basic characteristics of seasonal variation of sediment compositions in the previous report. In this paper we deal with the rapidity and extent of the variation of sediment composition.

The main results are as follows. When the surface sediment size became finer, the fresh water inflow to the estuary was about $100\text{m}^3/\text{s}$ ($5.6\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$) and the change was completed in about 10 days. On the other hand, the change becoming coarser was completed in a day. In this case the fresh water inflow was over $400\text{m}^3/\text{s}$ ($22\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$). Judging from the change of longitudinal distributions of sediment size, finer particles always exist from the river mouth to the bay, and the extent to which finer particles are dominant expands upstream from spring to summer. When finer particles in the surface sediment were dominant, the thickness of the sediment layer where the finer particles were dominant was several centimeters in the middle reaches of the estuary. The time lag between the variation of the concentrations of the sediment constituents and the sediment size was not found due to the observation at intervals of 2 days.

KEYWORDS ; Asahi River estuary, Seasonal variation of sediment composition, Observation, Longitudinal distribution

1. 序 論

筆者らは、底泥を汚濁物質を輸送する主たる媒体の一つとしてとらえ、旭川感潮部を対象水域として、比較的長期的な底泥の挙動ならびに底質の変化につい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、春季には増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あ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、このような底質変化の速度や鉛直方向ならびに流下方向における底質変化の範囲については未知な部分が多く残されていた。本研究では、これらについて現地調査に基づいて検討を加え、その結果について報告する。

2. 対象水域の概要と調査方法

旭川感潮部の概要と採泥地点を Fig. 1 に示す。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。

旭川感潮部における流動と河道の特徴を整理すると、次の通りである。

感潮部の流水断面積は、潮位が T. P. 0 m の場合、上流の Point 1 付近で 400m^2 前後であるが、流下方向に増加し、感潮部中央付近の Point 2 (地点 A-4) 付近で 700m^2 前後、河口付近では 1000m^2 以上

* 岡山大学工学部 School of Engineering, Okayama University

** 株式会社日水コン Nihon Suido Consultants Co., Ltd.

である。ただし、地点A-3および地点A-5付近には水制が並び、実質的な流水断面は小さくなっている。感潮部上流端にある新堰は可動堰であり、通常、もぐり流出状態にあるので、潮汐に伴い堰の上下流間の水位差が変化することにより、感潮部へ流入する淡水流量も大きく変化する^{4), 5)}。

Point 2 付近における満潮から干潮までの観測結果⁶⁾によると、平均淡水流量が $190 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度でも、下層ではほとんどの時間帯について上流方向の流速が認められた。また、Point 1 付近においては、1 潮時の平均淡水流量が $46 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度の場合に、満潮付近の下層で上流方向への流速が観測されているが、塩分濃度は底層でも海水の $1/3$ 程度に希釈されていた^{7), 8)}。旭川の平水量は約 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ であるので、Point 2 までは出水の場合を除けば常に海水が遡上し、また、Point 1 でも年間の半分程度の日数は海水が遡上するものと推定される。

採泥地点は、Fig. 1 に示される各地点であり、Point 1～3 は3年以上観測を継続している地点である。また、A-1～A-6 および B の各地点は、流下方向の底質分布を調査した地点であり、地点A-4 はPoint 2 とほぼ一致している。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、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、1981年10月から1985年3月まではPoint 1～3 を対象に、水文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週間としたが、1985年4月と6月においては、この時期に粒度が大きく変化するので、Point 1 およびPoint 2 を対象としてその過程を2～3日間隔で詳細に調査した。なお、調査は現在も継続中である。採泥には主としてエクマンバジ探泥器を用い、通常は採取された底泥の表層1～2 cm を試料としたが、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い、この場合は採取された底泥を深さ方向に3 cm ずつ混合して分析に供した。

底質の分析項目は、粒度（フルイ分け法とピペット法の併用）、強熱減量（ 600°C 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⁹⁾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

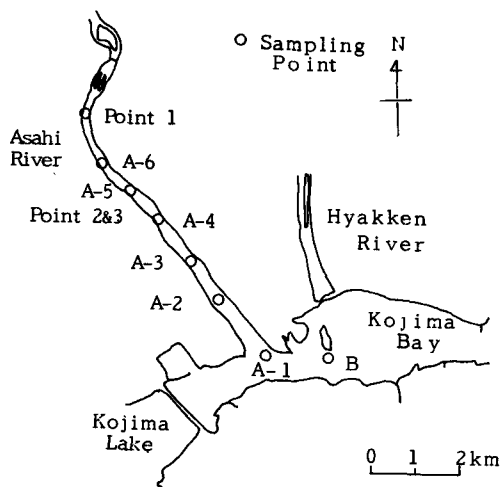


Fig. 1 Sampling Point

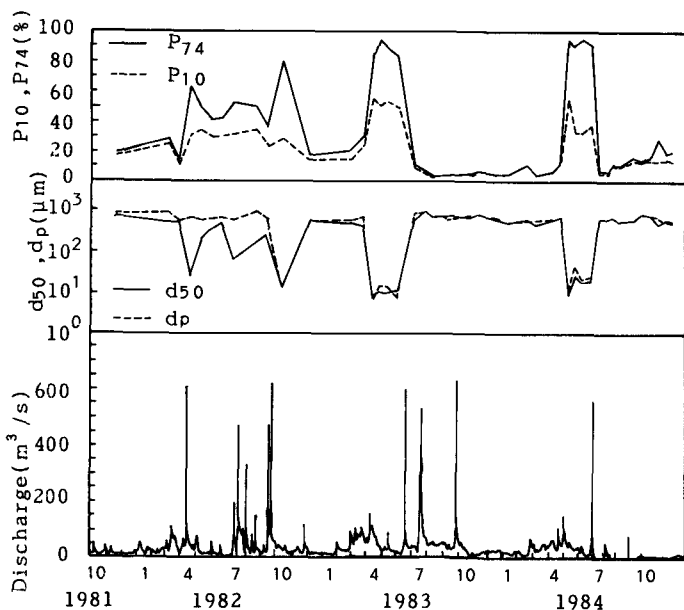


Fig. 2 Seasonal Variations of Particle Size Distributions at Point 2 and River Discharges

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. 結果と考察

3. 1 粒度および組成変化の速度

粒度組成の季節変化の様子を、従来発表した図¹⁰⁾に1984年の流量データを追加して、Fig. 2に再掲する。なお、図中において d_{50} および d_p は、中央粒径および最大頻度粒径(粒径頻度分布曲線における最大ピークに相当する粒径)であり、 P_{74} および P_{10} は、粒径 $74\mu m$ および $10\mu m$ 以下の粒子の重量百分率である。

Fig. 2に示されるように、4月付近から6月付近にかけて細粒子が卓越しているが、その他の時期には粗粒子が卓越しており、このような粒度変化の過程は比較的にすみやかに生じている。そこで、このように粒度が大きく変化する過程に焦点をあてて調査した結果がFig. 3～Fig. 5である。旭川感潮部のほぼ中央に位置するPoint 2では、調査開始前後から細粒子の増加がはじまっており、10日余りで細粒度化が完了している。この時期に d_{50} および d_p は $500\mu m$ 前後から数 μm まで、 P_{74} および P_{10} は21%から93%まで、および15%から65%までそれぞれ変化した。それ以後、6月21日までは大きな変化は認められないが、6月26日の出水により、細粒子はほとんど消失した。他方、感潮部の上流端近くに位置するPoint 1では、 d_{50} および d_p にはほとんど変化が認められないが、 P_{74} および P_{10} には4月中旬から増加傾向が認められ、6月14日にはピークが現われている。この期間中には、Point 1においても細粒子が増加していることを示している。Point 1では、それ以後 P_{74} と P_{10} は減少し、6月26日の出水後には粗粒子が卓越しているために分析するに十分な試料を採取できなかった。

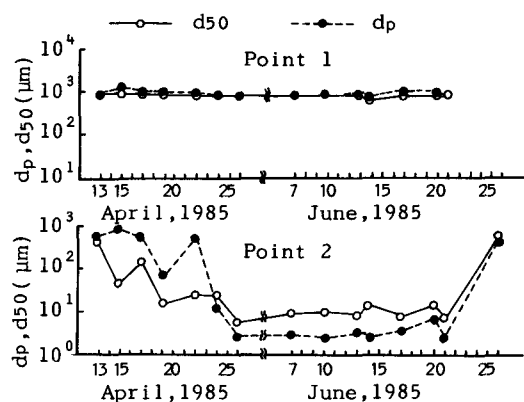


Fig. 3 Changes of d_p and d_{50}

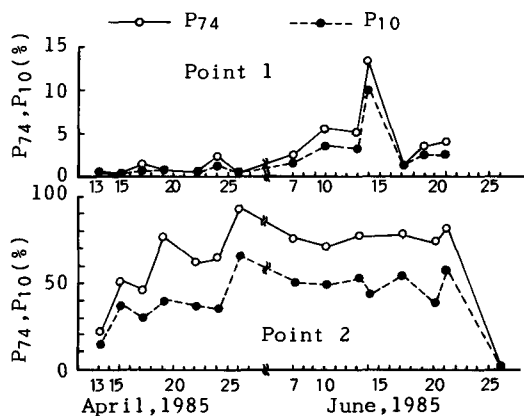


Fig. 4 Changes of P_{74} and P_{10}

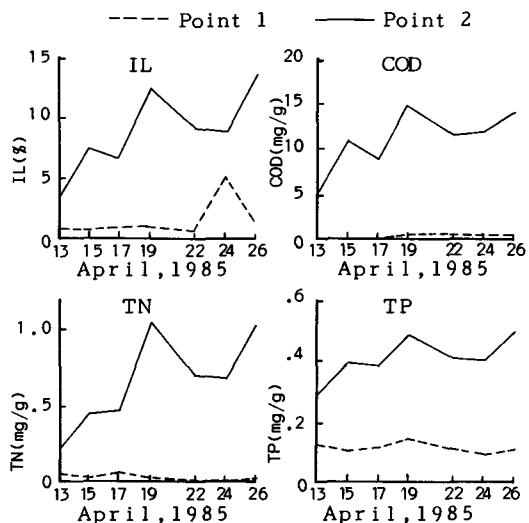


Fig. 6 Changes of IL, COD, TN and TP in Sediments

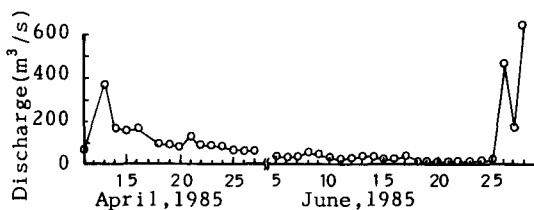


Fig. 5 Variation of Discharges

粒度変化とあわせて示している Fig. 2 および Fig. 5 の感潮部へ流入する淡水流量の変化より、流量のみによって粒度変化が説明できるとは考えられないが、春季の細粒度化の場合には $100\text{ m}^3/\text{s}$ 前後の流量が継続しており、また粗粒度化する場合には $400\text{ m}^3/\text{s}$ を越える流量の場合が多いことがうかがえる。

次に、細粒度化の過程における底泥中の各種成分変化の様子を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。Point 2 においては、ここに示した有機物、栄養塩および重金属のすべてについて、Fig. 4 に示す P74 および P10 の変化と対応がよく、ほとんど同じ増減傾向を示している。Point 1 においては、P74 および P10 がわずかしき増加しなかったことに対応して、底泥中の各種成分濃度もほとんど変化していない。なお、Point 2 での調査開始時(4月13日)の濃度は、粗粒子が卓越して底泥中の各種成分濃度が低濃度で安定している秋季から冬季にかけての従来の測定結果¹¹⁾と比較すると約2倍であり、すでに細粒度化が始まっている可能性が高い。

以上のように P74 や P10 の増加に伴ない各種成分濃度が増加しているが、従来の研究結果¹²⁾より、成分濃度との相関性が高いのは P74 であることがわかっているの、細粒度化の過程における P74 と各種成分濃度との関係を、Point 1 および Point 2 での調査結果に基づいて求めると Table 1 のようになる。

相関係数はデータ数が14個と少ないことを考慮しても十分に高い。従来の約60個のデータから求めた関係式と比較すると、今回得られた式は全体的に各種成分濃度を高く推定する傾向があるが、P74 の値を両回帰式に代入して比較すると TP, Pb および Ni を除けば P74 が 10% 以上の場合その差は 3 割程度以内である。これらのことは、日オーダーで成分変化を把握する際に

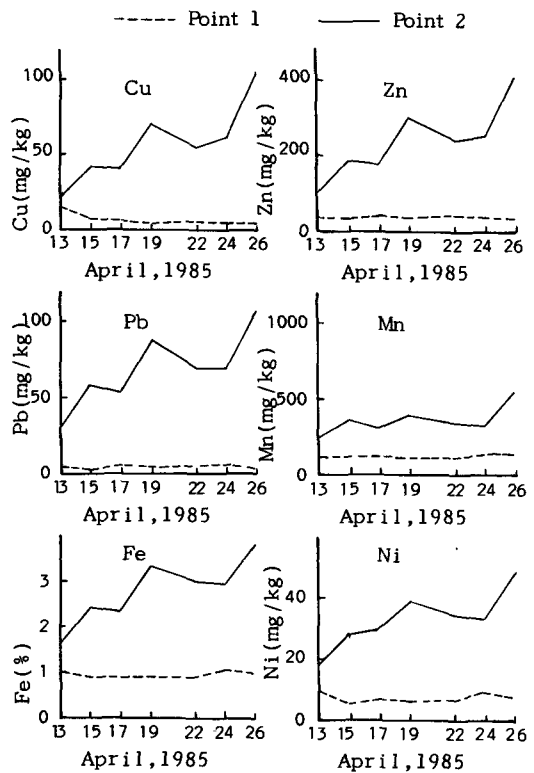


Fig. 7 Changes of Heavy Metals in Sediments

Table 1 Relationship between Sediment Constituent and P₇₄ at Point 1 and Point 2

Index	Regression Equation	R
IL (%)	$Y=0.127x+1.34$	0.967
COD(mg/g)	$Y=0.171x+0.62$	0.987
TN(mg/g)	$Y=0.0111x+0.01$	0.982
TP(mg/g)	$Y=0.00453x+0.128$	0.979
Cu(mg/kg)	$Y=0.897x+4.95$	0.978
Zn(mg/kg)	$Y=3.60x+31.4$	0.989
Pb(mg/kg)	$Y=1.09x+4.2$	0.999
Mn(mg/kg)	$Y=3.96x+133$	0.980
Fe (%)	$Y=0.0316x+0.93$	0.998
Ni(mg/kg)	$Y=0.432x+7.3$	0.995

X; P₇₄ (%), Y; Sediment Constituent

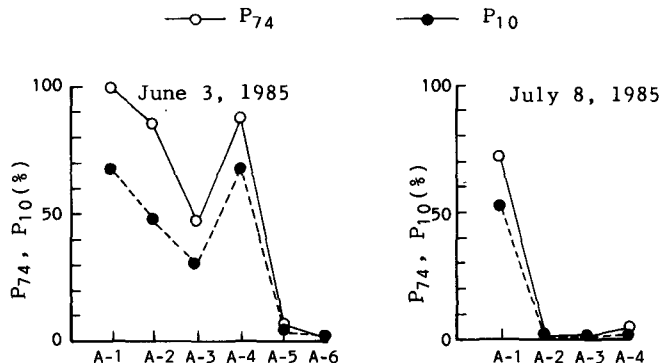


Fig. 8 Longitudinal Distributions of P₇₄ and P₁₀

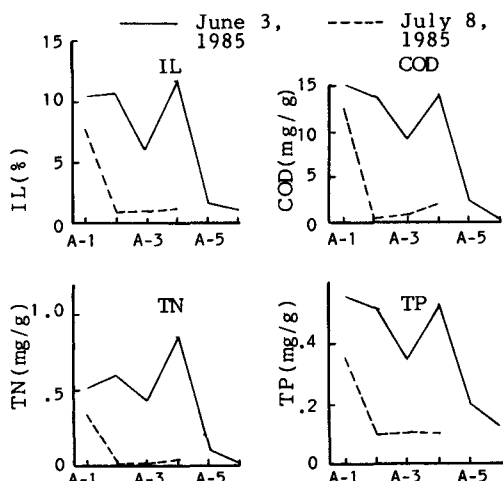


Fig. 9 Longitudinal Distributions of IL, COD, TN and TP in Sediments

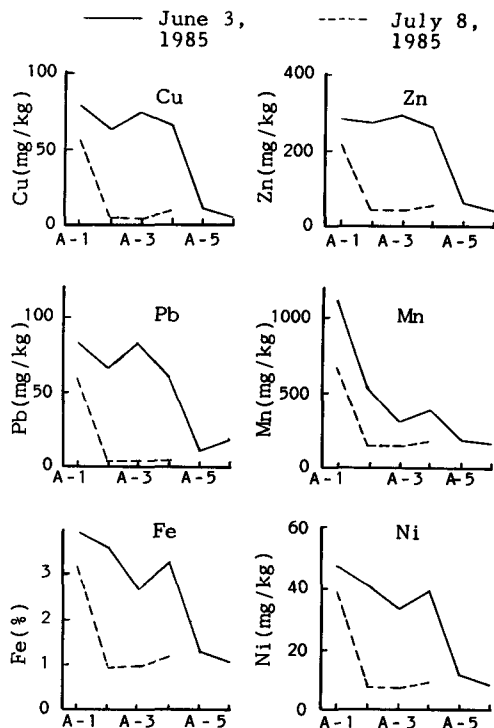


Fig. 10 Longitudinal Distributions of Heavy Metals in Sediments

は、比較的すみやかに生じる細粒度化の過程においても各種成分濃度の変化と粒度組成の変化との間の時間的な差を考慮する必要はなく、粒度組成によって成分濃度が決まると考えることも可能であることを示している。

3. 2 流下方向および鉛直方向の底質分布

底質が季節変化する際に、流下方向のどの程度の範囲で生じるかを検討したのが Fig. 8～Fig. 10 である。

6月3日は、細粒子が卓越している場合の底質分布であり、7月8日は粗粒子が卓越している場合の底質分布である。地点A-3と地点A-4で組成変化の傾向が逆転している。地点A-3付近は水制により流水断面積が小さくなっており粒子の堆積が生じにくいと推定され、他方A-4付近は流下方向に流水断面積が急増した部分にあたっており粒子の堆積が生じやすいと推定される。そのため、両者のうちどちらかもしくは両者に局所的な条件が関与していると考えられるが、これらの傾向を平滑化して考察すると、底質分布の全体的傾向は次のようである。細粒子が卓越している場合には、河口付近から地点A-4付近まで細粒子が卓越し、これに対応して、各種成分濃度も高くなっている。ただし、Mnだけは、河口から上流にむかって単調減少の傾向を示している。粗粒子が卓越している場合にも、河口では、幾分細粒子の割合が減少するが、細粒子が卓越している。このことから、河口部から湾にかけては常に細粒子が存在し、細粒度化すると感潮部にまで細粒子が広がってくると考えられる。

ところで、1985年の細粒度化時の流量を、以前求めたSS負荷量と流量との関係式¹³⁾に代入して、期間内に感潮部へ流入するSS量を求め、これらのSSの全量が感潮部下流部に堆積したとしても、1mm程度しか河床高が上昇しないと推定される。しかし、実際の細粒度化時には、次に示すように、河床表層部に

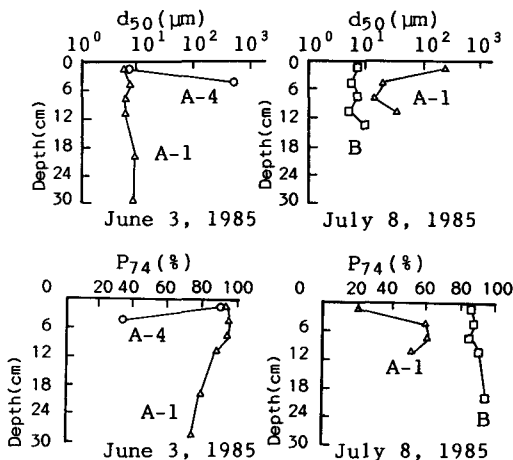


Fig. 11 Vertical Distributions of d_{50} and P_{74}

数cmも細粒子が堆積しているので、現在の段階では春季の $100\text{ m}^3/\text{s}$ 前後の流量が継続する期間に河口から湾にかけて堆積している細粒子が感潮部上中流部まで輸送されたと考えざるを得ない。

次に、底質の鉛直分布の観測結果について検討を加える。観測結果の例をFig. 11～Fig. 13に示す。6月3日は細粒子が卓越している時期であり、7月8日は粗粒度化直後である。また、A-1地点は河口付近であり、A-4地点は感潮部中央付近である。参考のために、児島湾のB地点における結果も示されている。A-4地点については、7月8日の結果が示されていないが、これは粒度が粗いために採泥できなかったことによる。

最初に、粒度組成について検討を加える。Fig. 11に観測結果が示されている。感潮部中央付近では、粒度が細かいのは高々数cmである。なお、使用した採泥器においては、粒径が粗砂以上の粒子を採取することは

困難であるので、図に示されている泥深に、採泥器の構造上の理由による数cm程度を加算すれば、粗砂までの泥深が概算され、今回の調査では粗砂までの泥深は10cm程度と考えられる。他方、河口付近では、細粒子が卓越している時期には、採泥器長を越える1m以上の細粒子の堆積が認められ、粗粒度化後には、泥深が減少するものの、依然として、粗砂までの深さは20cm程度存在する。また、粗粒度化後のこの分布においては、表層部の粒度がそのすぐ下層よりも粒度が粗くなっており、粗粒子が運ばれてきた可能性がある。

各種成分濃度の鉛直分布については次の通りである。

A-4地点においては、鉛直方向に2個のデータしかないが、上層が全項目について濃度が高く、粒度の鉛直分布と良好な対応を示している。しかしながら、A-1地点においては、6月3日の鉛直分布には、27～30cmの層に極端な高濃度が現われており、7月8日の重金属類の鉛直分布では、下層ほど濃度が高い傾

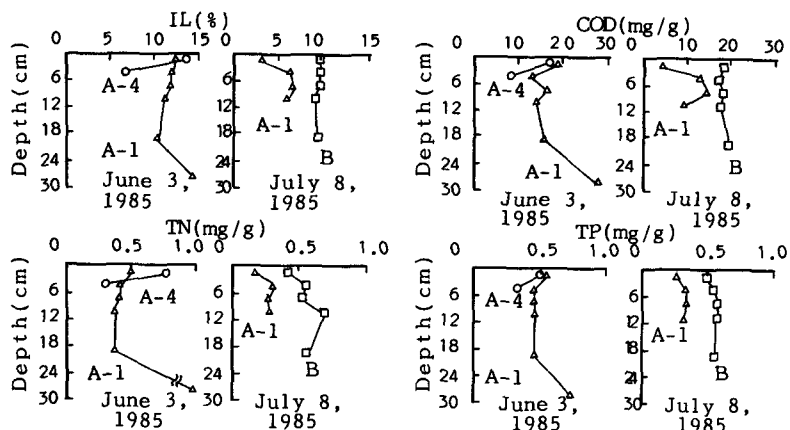


Fig. 12 Vertical Distributions of IL, COD, TN and TP in Sediments

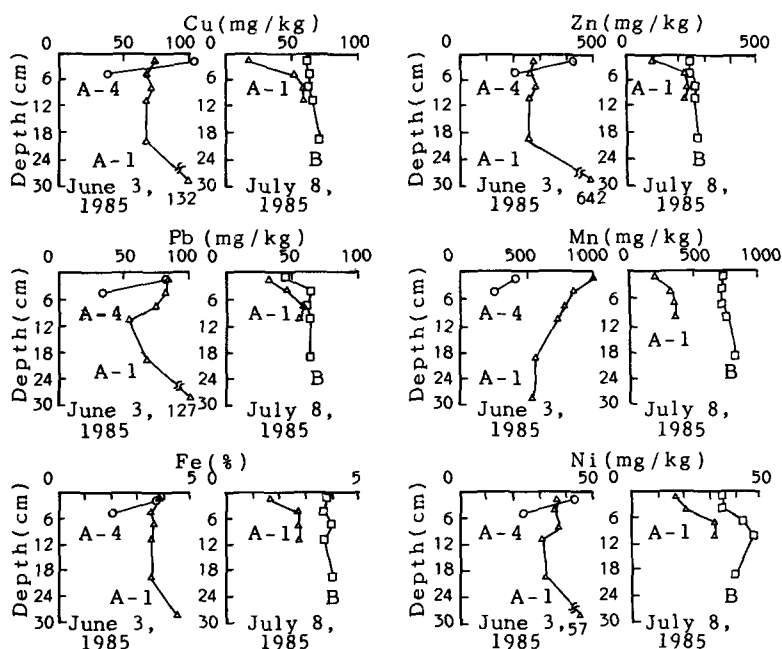


Fig. 13 Vertical Distributions of Heavy Metals in Sediments

向にあるなど、粒度分布との対応はあまり良好ではない。各種成分濃度の鉛直分布は、粒度以外の要因によっても影響を受けるようである。

細粒子が卓越している6月3日において、A-1地点とA-4地点の表層部の濃度を比較すると、 P_{74} の値はほぼ同じであるにもかかわらず、Mnを除けばA-4地点の濃度はA-1地点と同程度かそれ以上あり、全体的に濃度が高い傾向にある。

4. 結 語

本研究では、従来の観測により見いだされた底質の季節変化に着目し、この現象における底質の変化速度および鉛直方向および流下方向の底質変化の範囲について、旭川感潮部を対象とした現地観測により検討を加えた。得られた主要な結論は次の通りである。

- 1) 春季の細粒度化は10日余の期間で完了した。この細粒度化の過程においては、従来の観測結果も含めて $100\text{ m}^3/\text{s}$ （比流量 $5.6\text{ m}^3/\text{s}/100\text{ km}^2$ 、平水量の約2.5倍）前後の日平均流量が継続する場合が多い。他方、粗粒度化は1日以内に完了した。この時の流量は、従来の結果を含めて $400\text{ m}^3/\text{s}$ （比流量 $22\text{ m}^3/\text{s}/100\text{ km}^2$ ）程度以上の場合が多い。
- 2) 2日程度の採泥間隔下では、底泥の粒度変化に対応して底泥中の各種成分濃度も変化し、両者の間に時間差を見いだすことはできなかった。このことより、底質の季節変化を解析する場合は、粒度の関数として各種成分濃度を近似的に表現することが可能であると考えられる。
- 3) 流下方向の底質分布の時間的な変化より、河口付近には常に細粒子が存在し、細粒度化すると細粒子の存在する範囲が上流側へ広がり、粗粒度化すると河口付近にまで狭まると考えられる。なお、河口付近の細粒子の量は、細粒度化時には多いが、粗粒度化時には減少する。
- 4) 細粒度化後に河床表層部に堆積している細粒子の量は、感潮部中央付近で高々数cmであった。

以上、主要な結論を述べてきた。本研究結果は旭川を対象としたものではあるが、旭川と同様な底質の季節変化が、他の河川においても観測されつつあり、現象の普遍性を立証し、機構について検討を加えるために、今後、春季の細粒度化の過程におけるSSの輸送量を観測すると共に、数値シミュレーションを用いて検討する予定である。

本研究を遂行するにあたっては、九州大学工学部楠田哲也先生ならびに佐賀大学理工学部古賀憲一先生に、採泥器の製作に関して御教示いただいた。また、旭川の流量に関しては、建設省中国地方建設局岡山河川工事事務所調査設計課より資料を提供していただいた。ここに記して、関係各位に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 河原長美, 角田典基, 西内康裕: 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) 河原長美, 角田典基, 西内康裕, 土屋善浩: 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—, 衛生工学研究論文集, 第22巻, pp. 125~135, 1986.
- 3) 河原長美, 名合宏之: 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) 3)に同じ
- 5) 河原長美, 名合宏之: 旭川感潮部の水質分布におよぼす淡水流量の影響, 水質汚濁研究, 第6巻, 第4号, pp. 53~57, 1983.
- 6) 1979年2月における調査結果(未発表)
- 7) 1980年10月における調査結果(未発表)
- 8) 3)に同じ
- 9) 浮田正夫, 蔵重由美子, 中西弘: 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.

10) 2) に同じ

11) 2) に同じ

12) 1) に同じ

13) 河原長美，福寿真也，北川知与司：年間総流出汚濁負荷量の推定法に関する研究，水道協会雑誌，第53巻，第2号，pp.38～44，1984.