



Title	沿岸海域における河川懸濁物質の分布
Author(s)	梶原, 昌弘; KAJIHARA, Masahiro; 藤芳, 義裕 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 35(3), 161-170
Issue Date	1984-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23858
Type	departmental bulletin paper
File Information	35(3)_P161-170.pdf



沿岸海域における河川懸濁物質の分布*

梶原 昌弘**・藤芳 義裕***・川北 倫正**

Distribution of River Discharged Suspended Matter in Coastal Water*

Masahiro KAJIHARA**, Yoshihiro FUJIYOSHI*** and Michimasa KAWAKITA**

Abstract

Behavior of suspended matter (SM) discharged from a small river was studied in the coastal water.

The mean diameter of the suspended particles increases near the river mouth due to flocculation, when the SM in the river water comes in contact with the seawater, and contour lines of the mean diameter extend along an axis of the river water "plume". On the other hand, the contour lines of the beam attenuation coefficient, which is lower farther away from the river mouth, are concave with respect to the plume axis, affected by the resultant removal of SM. The SM which has settled becomes resuspended again near the seabed and is transported offshore.

In addition to flocculation, sinking and resuspension, changes in the time of the river discharge and the concentrations of SM have major effects on the distribution of SM in coastal regions. However, it is known that the ratio of the concentration of SM in river water (S_r) to river discharge (Q) is almost constant for any given river. If we assume that the rate of decrease in the ratio of SM concentration to discharge in coastal regions ($\Delta(S_r/Q)$), due to sinking and diffusion over the distance (Δx) on the plume axis, is proportional to (S_r/Q) , we can deduce that the ratio decreases exponentially as the distance from the river mouth increases. Approximately the same results are shown under different (S_r) and (Q). Using this method to study coastal regions, it may be of practical value in predicting the distribution of river discharged suspended matter.

結 言

海域に流出する河川水は、生物環境の場としての海に化学的・物理的な変化をもたらしている。いま、河川水に浮遊する懸濁物質についてのみ考えてみても、海域への流出は水質の汚濁をまねくとともに、光学的な環境場を変化させる。これらは生物の生理作用や生育に影響を与え、水中視程の劣化は漁撈に影響する。一方、海底に堆積する懸濁物質は、生息する底棲生物の環境を変化させるとともに、懸濁物質がもつ化学組成やその分解生成物によって水質に大きな変化をもたらすことになる。従って、もし河川懸濁物質が自然災害やあるいは人為的な流出によって、海域に多量に流出するならば、このような海洋生物、しいては漁業に及ぼす影響も一層大きくなるで

* 北海道大学水産学部北洋水産研究施設業績第160号
(Contribution No. 160 from the Research Institute of North Pacific Fisheries, Hokkaido University)

** 北海道大学水産学部北洋水産研究施設
(Research Institute of North Pacific Fisheries, Hokkaido University)

*** 北海道栽培漁業振興公社
(Hokkaido Mariculture Corporation)

あろう。

河川起源の懸濁物質が海域に流出した場合、その挙動は単に沈降と移流によって輸送され、海域の分布を形成するものではない。古くから実験的に知られているように^{1),2)}、淡水中に浮遊する懸濁物質は、電解溶液である海水と接触することによって動電学的な力や化学的相互作用によって凝集現象を引き起こすと考えられている。この懸濁物質の凝集は沈降の割合を変化させ、さらに沈降・堆積した懸濁物質は再び波浪や海底の流れによって上方へと拡散・輸送されることが予想される。この研究ではこのような河口海域における河川懸濁物質の挙動を追求し、さらに動的な海洋条件のもとでの河川懸濁物の分布予察への手掛りを得ることを一つの目的とした。

研究対象とした海域は、北海道渡島管内の長万部川が流出する沿岸海域である。この海域の本来の調査目的は、河口切替に伴なう水産資源に与える影響の予察であり、調査項目も海域では流向・流速、水温、水質、底質、底棲生物の調査、漁業実態調査、一方河川では流量、水質等と多岐にわたる調査が実施された。しかしここではこれらの調査の内、河川懸濁物質の海域における挙動に焦点をおいて検討する。用いた資料は主として昭和58年9月28日の測定結果であるが、調査月日の異なる資料も補足的に用いた。

資料の提供に御協力を戴いた北海道栽培漁業振興公社に深く謝意を表する。

調査・測定方法

海域に流出する河川水流量は、河口近くの長万部橋下で流速法によって測定した。すなわち、川幅を横断して測線を設定し、5 m 間隔に測探して各区分断面積を求め、中間点で電音式流速計(三映式)で流速を測定した。水深が50 cm 以深の場合は水深の2割と8割の流速の平均値を、また50 cm 以浅の場合には水深の6割の点流速の測定値を区分断面積の平均流速とし、流量を求めた。

海域では河口を中心に半円状に23測点を設定し、水温塩分計(Autolab, MK-II)によって水温塩分の鉛直分布の測定を行ない、また濁度計(Martek, XMS)によって光束透過率の測定を実施した。また前記の測点の内14点では、表層水及びバンドン採水器による各層採水を行なった。得られた試水は海水中の懸濁物質の重量濃度、及びコールターカウンター(Coulter Counter, TA-II)による粒子数の粒径分布の測定に供した。重量濃度は海水を濾過し、重量法によって求めた。すなわち、十分に乾燥し秤量した孔径0.45 μm 、直径47 mmのミリポアフィルター(HAWP)によって濾過し、5% 硝酸アンモニウム水溶液によって脱塩して乾燥し、濾過前後のフィルターの秤量差から重量濃度を求めた。なお、乾燥状態による測定誤差はブランクフィルターを用意して補正した。コールターカウンターによる粒径分布測定は100 μm のアーチャーチューブを使用し、各試水について3回の測定を行ないその平均値から求めた。測定範囲は1.59~40.3 μm である。

測定結果

1983年9月28日の表層における水温及び塩分濃度の水平分布を Fig. 1 に示した。河口を中心とした半円状に低温、低塩な河川水の張り出しがみられる。この時の河口での河川水温は14.5°C、測定された範囲での海域の最高水温、最高塩分濃度は各々19.4°C、32.00であった。Table 1は9月28日に長万部橋下で測定された流量及び調査日4日前からの気象状態を示したものである³⁾。ここで平均風速(mean wind speed)とは毎正時24回の測定値の平均、最大風速(maximum wind speed)は毎正時の測定値の中の最大値(maximum wind direction)、最多風向(most frequent wind direction)は毎正時24回の測定値の中で最も出現ひん度の高かった風向である。従って、調査日以前は2~3.5 m/secの微風が沖合に向かって吹いていたことになる。表層水は風速の約4%で移動

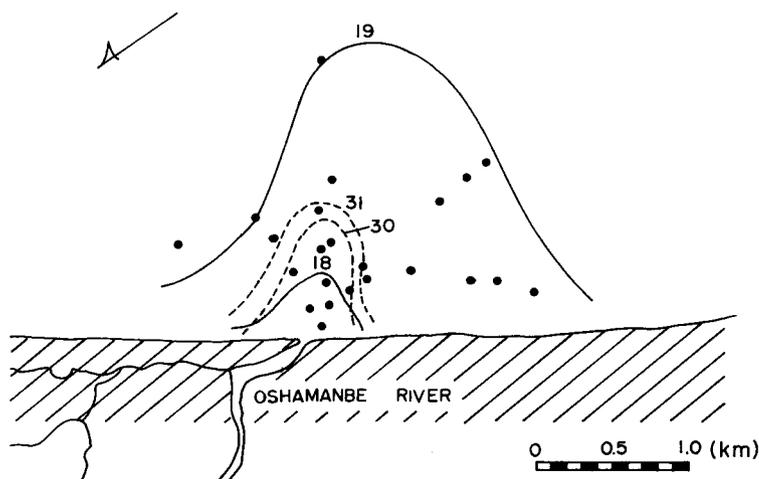


Fig. 1. Distributions of temperature (°C) and salinity off Oshamanbe River on September 28, 1983. Solid line shows temperature and dashed line salinity.

Table 1. Meteorological conditions and river discharge

Date	Mean W.S. (m/sec)	Max. W.S. (m/sec)	Max. W.D.	M.F.W.D.	Discharge (m ³ /sec)
Sept. 25	3.5	10	SE	NW	
26	2.1	5	W	NW	
27	2.2	6	WSW	NW	
28	2.2	5	N	NW	5.78

Mean W.S.: mean wind speed
 Max. W.S.: maximum wind speed
 Max. W.D.: maximum wind direction
 M.F.W.D.: most frequent wind direction

することが知られているから、長万部の河川水は海域を拡散するとともに、約8~14 cm/secの割合で沖合方向に運ばれていたと考えられる。Fig. 2は光束透過率 T の測定結果を光束消散係数 α ($= \ln 1/T$) として示したもので、実線は海面下1 m、破線は海底上1 mの等値線である。測点数はFig. 1と同様23点である。両者とも河口に近づくに従って濁度(光束消散係数)は高い。濁度の等値線は河口沖合でくびれているが、Fig. 1の水温、塩分濃度の分布に重ねてみると、この凹部は河川水のブルーム軸方向に一致している。Fig. 3はコールターカウンターによる粒子数の粒径分布の計測値を用い、次式から求めた体積平均粒径の水平分布を示した。

$$D_v = \frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i D_i^2} \quad (1)$$

ここで D_v は体積平均粒径、 N_i は直径 D_i の粒子の粒子数である。測定点は既に述べたように採水点、すなわち14点である。等値線は濁度分布とは逆の傾向を示し、濁度の凹部、すなわち清澄な海域では平均粒径が高くなる。次にFig. 4はこのブルーム軸方向の断面を示したもので、測線はFig. 3に鎖線で示した。Fig. 4は上に濁度、下に懸濁物質の重量濃度を示したものである。濁度は

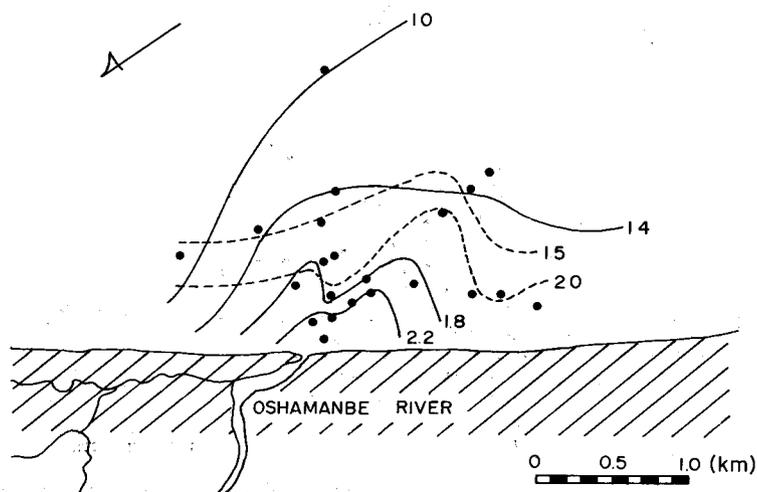


Fig. 2. Beam attenuation coefficient α (m^{-1}). Solid line shows coefficient at 1 m below the surface and dashed line at 1 m above the seabed. Location and date are as in Fig. 1.

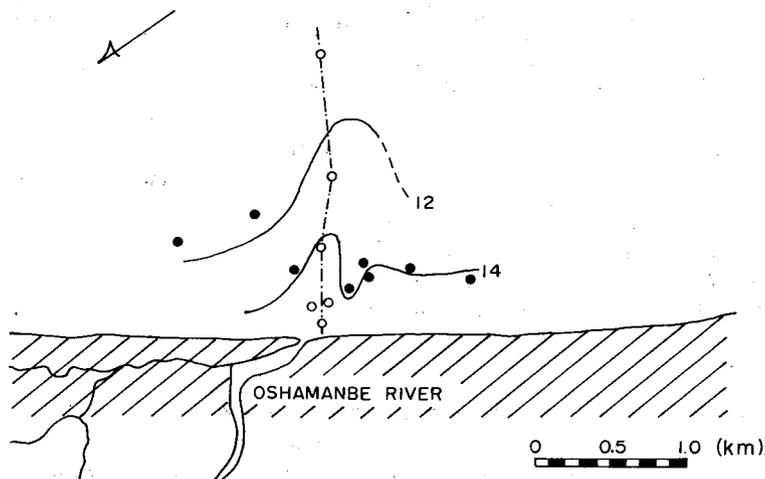


Fig. 3. Volume mean diameter (μm) at 1 m below the surface. Location and date are as in Fig. 1.

上層及び下層で高く、中層では清澄になっている。等値線は Fig. 2 でも明らかなように、海底近くを舌状に沖合へと伸びている。懸濁物質の重量濃度も濁度分布と同様に、河川水による懸濁物質の流出のために、河口に近いほど高濃度である。海底近くは、海域の水深が浅く、かつ採水間隔も粗いため濁度分布のように明瞭ではないが、濃度は高くなる傾向を示している。Fig. 5 は上に粒子の総体積濃度(p.p.m.)、下には体積平均粒径の断面分布を示した。総体積濃度は濁度分布、懸濁物重量濃度とほぼ同様の分布傾向を示し、河口に近い測点ほど鉛直的にも濃度が高く、かつ海底近くで増加する傾向がみられる。体積平均粒径の断面図をみると、同様に河口に近いほど

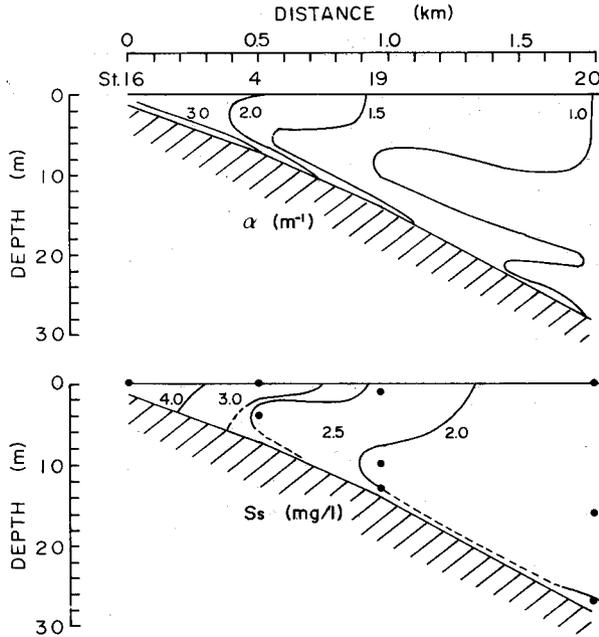


Fig. 4. Vertical sections along river water "plume" (dashed-dot line in Fig. 3). Upper figure shows the beam attenuation coefficient α (m^{-1}) and the lower figure the concentration of suspended matter S_s (mg/l).

平均粒径が大きいのが、詳細にみても、St. 16の表層では $14.87 \mu m$ 、St. 4の表層で $14.30 \mu m$ 、4 m層で $14.41 \mu m$ と、この両側点に関しては大きな差は認められない。海底付近は測定数がやや不足ではあるが、沖合の St. 20の下層を除き特に増加傾向は明瞭ではない。

考 察

Fig. 2の濁度の水平分布や Fig. 4, Fig. 5の濁度、懸濁物質の重量濃度、粒子の総体積濃度の鉛直断面分布は、河川懸濁物が河口を起点として海域に分散していく状況を示していた。分散過程にともなって、懸濁物質は Fig. 3及び Fig. 5の体積平均粒径の水平、鉛直分布から明らかなように河口に近いほど平均粒径が大きい、すなわち河川懸濁物は実験的に知られていたように海水と接触することによって凝集し、その結果粒径が増加していることを示していた。凝集・沈降の度合は流出する河川流量や懸濁物質の組成等によっても異なると思われるが、この9月28日の測定に関しては Fig. 3のように河川水のブルーム軸方向でより凝集が進行し、粒径の増大に伴う沈降割合の増加のために Fig. 2のようにブルーム軸方向で濁度は清澄になっていた。一方、堆積した懸濁物質は再懸濁し、そのため海底近くで濁度、懸濁物質の重量濃度、粒子の総体積濃度が高くなり、舌状に海底近くを沖合へと分布していた。

このような河川懸濁物質、及びその関与する物理量の分布傾向は、季節的あるいは時間的な河川流量や懸濁物質濃度とその組成によって変化すると考えられる。

さて、河川水中を輸送される懸濁物質と河川流量との間には、次の関係が成り立つことが知られている。

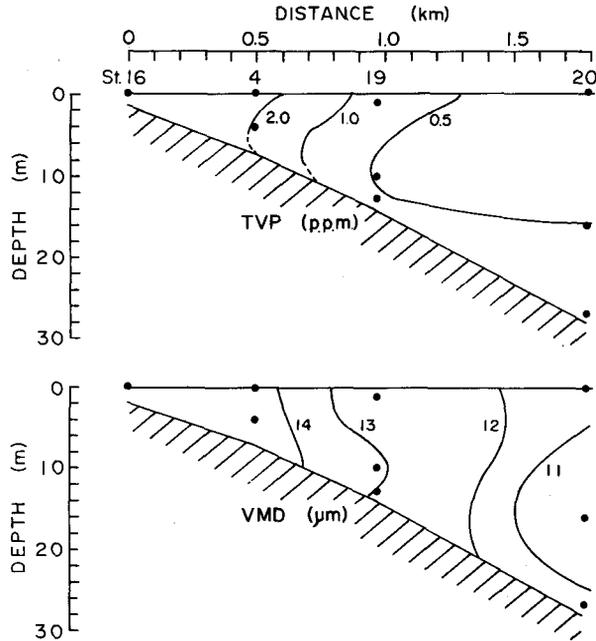


Fig. 5. Vertical sections along river water "plume". Upper figure shows the total particle volume TPV (p.p.m. by volume) and the lower figure the volume mean diameter VMD (μm).

$$Q_s \propto Q^n \quad (2)$$

ここで Q_s は懸濁物質の輸送量, Q は河川流量, n は常数である。実測結果によれば, n の値は河川によって多少のバラツキはあるが, ほぼ 2 である。いま河川断面内の流速, 懸濁物濃度 S_r が均一に分布していると考えれば $Q_s = Q \cdot S_r$ であるから

$$S_r \propto Q^{n-1} \quad (3)$$

となり, $n=2$ ならば (S_r/Q) は一定となる。すなわち河川を限定するならば, その河川の懸濁物質の輸送特性に対応してパラメーター (S_r/Q) は河川流量とは無関係に常に一定であると考えて良い。そこで海域の懸濁物濃度を, 海域の懸濁物濃度 S_o と河川流量との比 (S_o/Q) におきかえ, また凝集や沈降, 拡散等の複合効果としてもたらされるこのパラメーターの減衰係数を k として考えてみる。海洋の動的条件の変化を考慮し, プルーム軸方向を想定して x 軸とし, 区間 Δx でパラメーターが $\Delta(S_o/Q)$ だけ減少し, かつその減少の割合が (S_o/Q) に比例するものとする。すなわち,

$$\frac{\Delta(S_o/Q)}{\Delta x} = -k (S_o/Q) \quad (4)$$

が成り立つものとする。河川でのパラメーター (S_r/Q) を河口 $x=0$ における境界条件 $(S_o/Q)_0$ で表わすと, (4) 式の解は

$$(S_o/Q) = (S_o/Q)_0 \exp(-kx) \quad (5)$$

となる。

Fig. 6 は 9 月 28 日に測定された懸濁物の重量濃度と河川流量 ($5.78 \text{ m}^3/\text{sec}$) との比 (S_o/Q) を

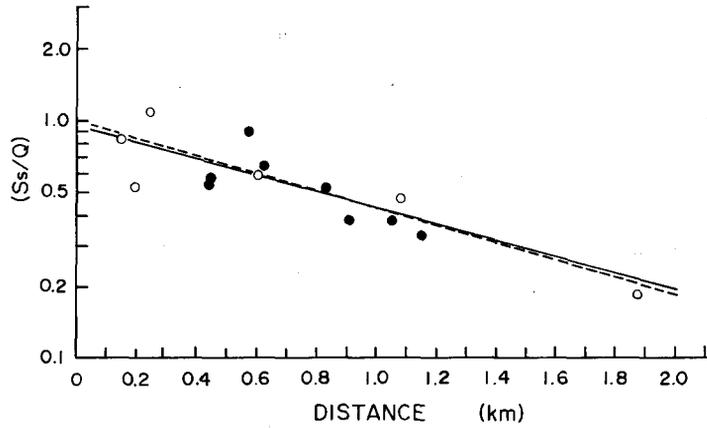


Fig. 6. Relation between the ratio S_s/Q and the distance from the river mouth at the surface water. White circles represent stations on the plume axis. Solid regression line is calculated from white circles (equation 6) and dashed line from all the data (equation 7).

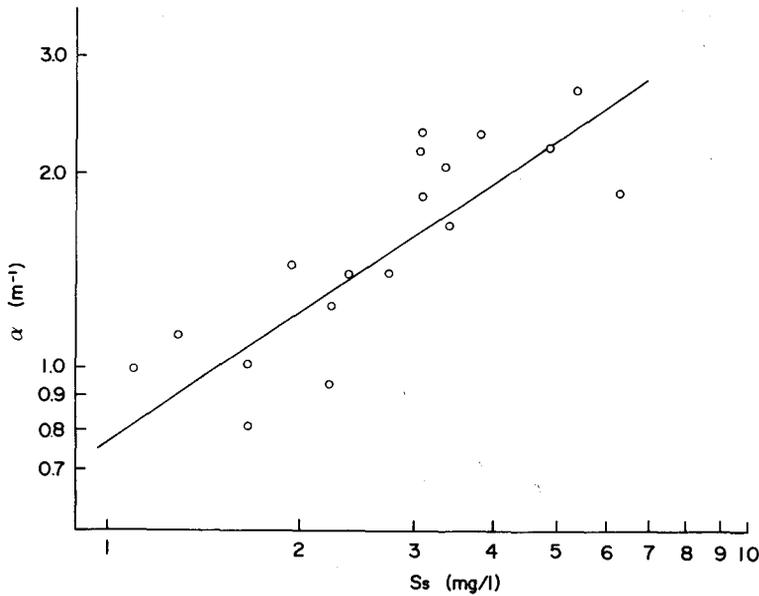


Fig. 7. Relation between the beam attenuation coefficient α (m^{-1}) and the concentration of suspended matter S_s (mg/l).

求め、河口からの距離の関数として示したものである。なお懸濁物の測定点は Fig. 3 に示してあるが、ブルーム軸上と考えられる測定点は白丸で示した。この白丸を用いて最小二乗法によってその関係を求めてみると、

$$(S_s/Q) = 0.958 \exp(-0.810x) \quad (6)$$

$$r = -0.904$$

となり、相関係数は -0.904 と極めて高い。さらに全測定結果を用い、同様の計算を行なってみる

と、

$$(S_s/Q) = 0.973 \exp(-0.836x) \quad (7)$$

$$r = -0.864$$

となり、(6) 式の結果に比べ相関係数はやや減少する。

次に、海底近くの懸濁物分布について求めてみる。船上からの海底近くの採水は、船の動揺、重りの着底による堆積物のじょう乱、採水器の長さ比べ鉛直的な懸濁物分布の変動が大きく、そのため海底からの高さや懸濁物濃度の測定精度が保たれない、等々の理由から好ましくない。そこで濁度の測定結果をもとに、懸濁物濃度を算出することにする。Fig. 7は9月28日に採水測定された全懸濁物濃度と、その採水層に対応する濁度の相関を示したものである。得られた回帰直線は

$$\ln(\alpha) = 0.644 \ln(S_s) - 0.203 \quad (8)$$

$$r = 0.846$$

である。濁度の測定は Fig. 2 に示したように 23 測点で実施しているが、ここでは Fig. 6 に対比させるため、採水点、すなわち Fig. 3 の測定点についてのみ (8) 式を用い、海底上 1 m の濁度の値から懸濁物濃度を求めた。得られた結果は Fig. 8 に示した。ブルーム軸方向については

$$(S_s/Q) = 1.36 \exp(-1.04x) \quad (9)$$

$$r = -0.926$$

で減衰係数がやや大きい。これはブルーム軸方向での急激な凝集・沈降の結果である。さらに全測定結果について求めてみると

$$(S_s/Q) = 1.52 \exp(-0.836x) \quad (10)$$

$$r = -0.602$$

となり、相関係数は -0.602 と良くない。これは既に述べたように、濁度分布の等値線がブルーム軸をはずれた位置で沖合に伸びている傾向があるため必然的にここでは S_s も高くなり全体としてのバラツキを大きくしたものである。

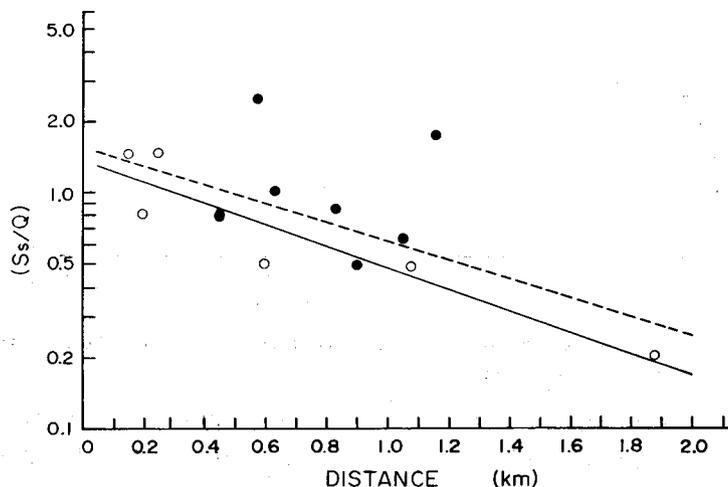


Fig. 8. Same as Fig. 6 except that the relation is determined for 1 m above the seabed. The concentration of suspended matter is obtained by substituting the beam attenuation coefficient into equation 8. Regression line is calculated as in equation 9 using white circles, and as in equation 10 using all the data.

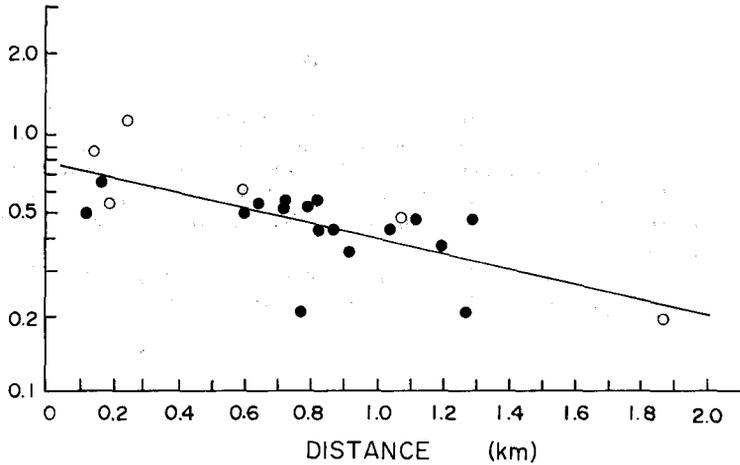


Fig. 9. Same as Fig. 6 except that S_s and Q are different. White circles are the same as in Fig. 6. Solid circles are from data obtained on May 12, September 1 and October 21, 1983. Regression line is calculated using all the data (equation 11).

Table 2. River discharges

Date	May 2	Sept. 1	Oct. 21
Discharge (m ³ /sec)	9.28	8.80	2.38

さて、海域でのパラメーター (S_s/Q) を河口からの距離の指数関数で表わしたとき、ブルーム軸方向に関しては特に相関が高かった。既に述べたように、河川でのパラメーター (S_r/Q) はそれぞれの河川に固有な値をもつことから、長万部川海域の測定時期を異にした結果についてさらに検討してみる。Fig. 9は昭和58年度のこの海域で水温、塩分及び懸濁物の測定が実施されている5月12日、9月1日、10月21日の測定結果からブルーム軸方向のみを抽出して図示したものである。黒丸は前記の3回の測定結果、白丸は既に検討した9月28日の測定結果である。この時の長万部川の流量はTable 2に示した。パラメーターと河口からの距離は全測定結果を用いると次の関係式で示された。

$$(S_s/Q) = 0.775 \exp(-0.677x) \quad (11)$$

$$r = -0.718$$

(6)式に比較し相関係数が悪く、かつ減衰係数も小さくなっている。これは測定された海域の懸濁物質が河川起源ばかりではなく、海洋の生物起源の懸濁物質も加わっていることに一つの原因がある。生物起源の懸濁物質濃度は季節的に変動する。従ってこの変動は海域の (S_s/Q) にバラツキをもたらすことになる。しかし(11)式が季節的に異った測定結果を用いており、しかも河川流量がほぼ4倍も異っていることを考えるとき、この相関はかなり高いといえる。

従って、河川のパラメーター (S_r/Q) が既知であるならば、観測によってその河口海域の減衰係数 k を推定し、これによって任意の河川流出量における海域の懸濁物質濃度の最大範囲を予測することが可能である。この方法はアセスメント調査の場合、実用的に有効な手段となるであろう。

文 献

- 1) Nomitsu, T. and Takegami, T. (1937). Studies on marine deposit. 1. On the action of sea-salts upon the sedimentation of fine mud. *Rec. Oceanogr. Works Japan* 9, 1-25.
- 2) Whitehouse, U.G., Jefferey, L.M. and Debbrecht, J.D. (1960). Differential settling tendencies of clay minerals in saline water. p. 1-79. In Swineford, A. (ed.), *Clays and Clay Minerals. Proceedings of the Seventh National Conference on Clay and Clay Minerals*. 369 p. Pergamon Press, (London).
- 3) 札幌管区气象台 (1983). 北海道の気象 第27巻 第9号. 日本気象協会北海道本部. (札幌)
- 4) 本間 仁・安芸咬一編 (1962). 物部 水理学. 660 p. 岩波書店, (東京).