

河口沿岸域での ADCP を用いた濁度推定と浮遊物質の 移動量算出の試み

山下俊彦*・奈良俊介**・山崎真一***

河川から流出した細粒土砂成分は、窒素・リン等の栄養塩類を多く含有し、高濁度水塊を形成するため沿岸海域の水質や生物活動に大きな影響を与えている。懸濁物質濃度と相関がある ADCP の反射強度から濁度を推定するには、ADCP からの距離による反射強度の減衰が問題となるが、濁度の値が鉛直方向に一樣に低いときの反射強度データから減衰量を推定することにより、時空間的な濁度の変化を再現することがある程度可能であることがわかった。さらに、底質粒径が小さい場合には、濁度と SS 濃度の相関が良く、濁度と流速データを掛け合わせることで浮遊物質の移動量を算出することが可能であることがわかった。

1. はじめに

近年、陸域から海域までの水系の一貫した土砂管理が求められている。河川から流出した種々の粒径の土砂が沿岸域でどのように堆積・移動するかという事は、河口域での土砂収支を明らかにする上で非常に重要であり、また、流出した細粒成分は窒素・リン等の栄養塩類を多く含有し、高濁度水塊を形成するため沿岸海域における懸濁物質の濁度分布は水質や生物活動に大きな影響を与えていると考えられている。

濁度分布の測定には濁度計が用いられることが多いが、鉛直方向に連続測定するには多数のセンサーを配置しなければならない。流速計として使用されている ADCP は、海水中に音波を発射し懸濁物質からの反射波を受け流速を求めている。そのため、流速とともに測定される反射強度は、海水中の懸濁物質濃度と相関があり、多層の濁度推定が可能と考えられる。さらに、濁度と SS 濃度の関係がわかれば SS の移動量の推定も可能となる。

沿岸海域で ADCP を用いた濁度の推定を試みた研究としては、泉宮ら (1999)、山崎ら (2000) 等がある。ここで問題となるのは、海域での ADCP の反射強度の距離減衰の推定である。山崎ら (2002) は、濁度が鉛直方向に一樣に低い場合の反射強度から距離減衰を推定する方法を提案している。

そこで本研究では、河川流出に含まれる懸濁物質の移動・拡散・沈降や波動流等による底質の巻き上げ・移動を調べるため、北海道河口沿岸域の 4 地点を対象として、濁度計 3～4 台と海底設置型 ADCP を設置して現地観測を行った。ADCP によって測定された反射強度データと濁度計のデータを比較して、ADCP の反射強度から濁度が推定できるかどうかを検討した。さらに、石狩川河口沿岸域においては、観測地点で採水分析を行って浮

遊物質 (SS) 濃度を測定し、濁度と SS 濃度との関係と ADCP による鉛直流速分布より、浮遊砂成分の移動量の算出を試みた。

2. 観測内容

北海道太平洋沿岸に位置する鵒川河口域と日本海沿岸に位置する石狩川河口域、尻別川河口域で現地観測を実施した。図-1 に現地観測地点図を示す。

鵒川河口域では、1999 年 9 月に 1200 kHz の ADCP を水深 10 m の海底に設置し、流速及び反射強度を約一ヶ月間測定した。同時に海底面上 1 m, 5 m, 海面下 2 m の位置に濁度計を設置して濁度を測定した。2000 年 4 月の融雪期には水深 15 m に 1200 kHz ADCP と海底面から 1.5 m, 7 m, 13 m の位置に濁度計を設置して約一ヶ月間測定した。ADCP 反射強度データと濁度計のデータを比較して濁度推定を行った。尻別川河口域では 2001 年 1 月の冬期に、水深 30 m の海底に 600 kHz の ADCP と海底面上 0.5 m, 3 m, 6 m, 15 m の位置に濁度計を設置して約一ヶ月間観測を行った。石狩川河口域では 2001 年 11 月の一ヶ月、水深 19 m の位置に 1200 kHz ADCP と海底面から 2 m, 8 m, 15 m に濁度計を設置して観測を行った。また、同位置で 10 月 22 日と 11 月 19 日に柱状採泥を

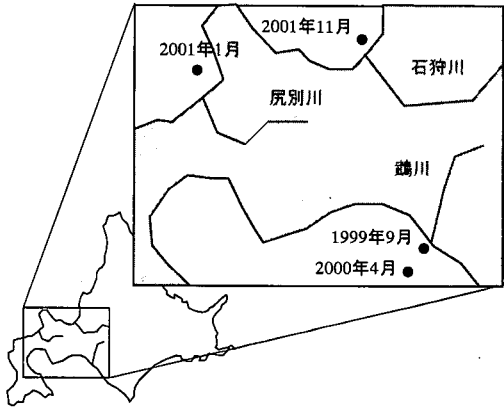


図-1 観測地点図

* 正会員 工博 北海道大学助教授 大学院工学研究科
** 正会員 工修 北日本港湾コンサルタント(株)
*** 正会員 工修 (独)北海道開発土木研究所河川研究室副室長

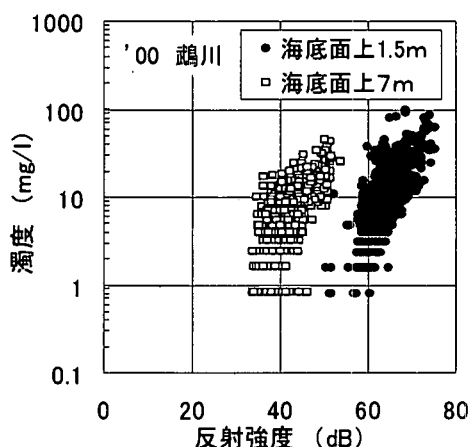


図-2 反射強度と濁度

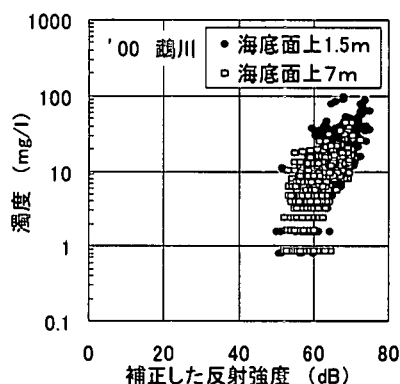


図-4 補正した反射強度と減衰量

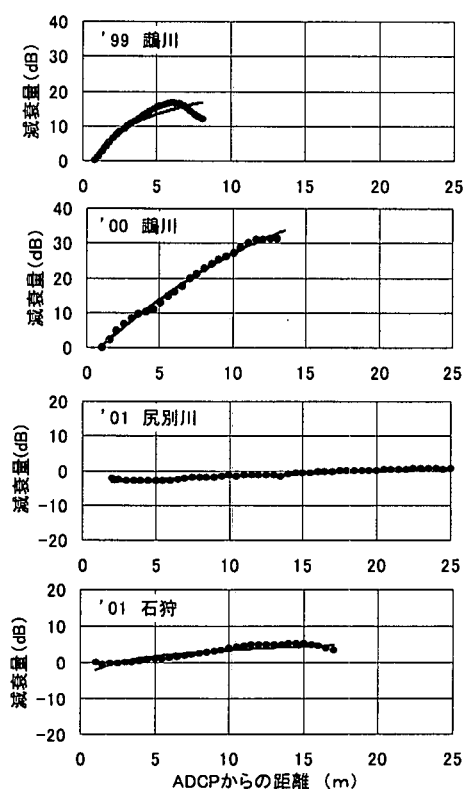


図-3 ADCP からの距離と減衰量

行って底質粒径を求め、採水を実施してSS濃度を求めた。濁度とSS濃度の関係とADCPによる鉛直流速分布より、浮遊物質の移動量の算出を試みた。

3. 音波の伝播損失

濁度に関係していると考えられるADCPの反射強度と濁度計の測定値を図-2に示す。鶴川河口域では

ADCPからの距離によって系統的な差が見られる。これは、音波が海水中を伝播する際に距離による拡散や吸収・散乱による損失によってエネルギーの減衰が生じるためである。音波の伝播損失はADCPの周波数、反射強度を測定する層厚や濁質などで異なることが知られており、正確な推定が困難である。

そこで、山崎ら(2002)と同様に、ADCPの音波の伝播減衰を調べるために、各観測期間中において濁度が鉛直方向に低くときの反射強度データから減衰量を推定する。各観測でのADCPからの距離に対する減衰量を図-3に示す。ここに示したケースでは、鉛直方向に3～4台設置した濁度計の濁度値はそれぞれ濁りの少ない海水状態と思われる約1mg/l以下である。ADCPから離れるにつれて反射強度が低くなっているのは主に伝播による減衰の影響であると考えられる。尻別川河口域や石狩川河口域では、反射強度の大きな減少は見られず、ADCPから最も離れたところでも反射強度は5dB程度しか減少していないことから、減衰の影響は少ないことがわかる。一方、鶴川河口域では、反射強度はADCPから離れるにつれて大きく減衰しており、2000年の観測データでは、ADCPから10m以上離れたところで反射強度が30dBも減少しているのがわかる。このように各地点の減衰量とADCPからの距離との関係から伝播減衰を推定した。この伝播減衰を考慮して補正した反射強度と濁度の関係を図-4に示す。ADCPからの距離による差はほとんど無くなり、比較的良好な相関が得られた。この関係から濁度の推定式を求めた。

4. 濁度推定

補正した反射強度から濁度を推定し、濁度計によって測定された実測値との比較の例を時系列で図-5(a), (b)に示す。図-5(a)は1999年鶴川河口域で海面下2m, 5m, 海底面上1mの3層における実測値と推定値を示し、図-5(b)では2001年石狩川河口域での海面下1m,

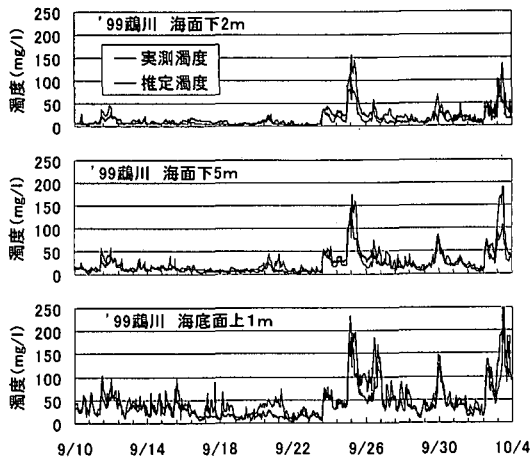


図-5(a) 実測濁度と推定濁度
(1999年鶴川河口域, 水深10m)

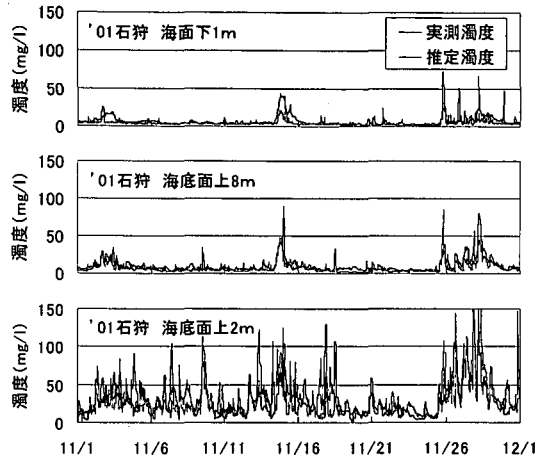


図-5(b) 実測濁度と推定濁度
(2001年石狩川河口域, 水深19m)

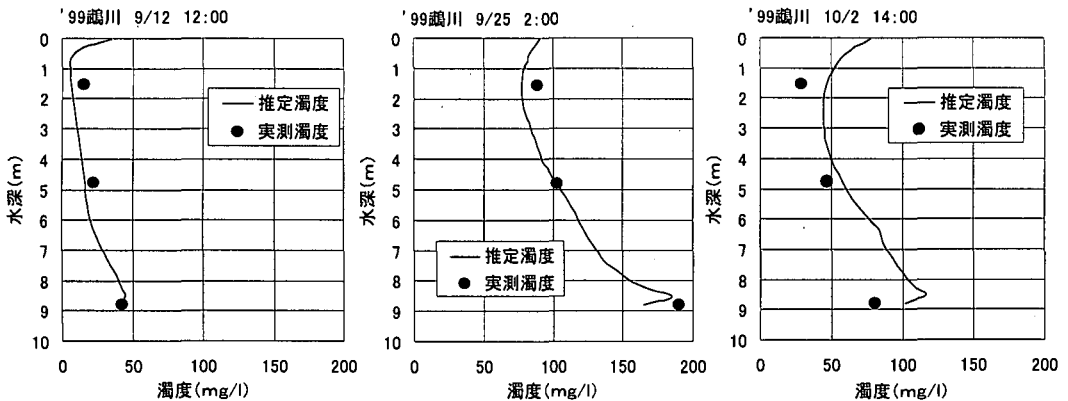


図-6 濁度の鉛直方向の比較

海底面上8mと2mの実測値と推定値を示す。反射強度から推定した濁度は各地点とも実測値とほぼ一致しており、濁度の推定がある程度可能であることがわかる。鶴川河口域では9月25日と10月3日前後で、海底面上1m地点では200 mg/lを超える値があり、上層の海面下2mでも150 mg/lを超えるときが見られる。石狩川河口域では、11月15日と29日の下層で100 mg/lを超える濁度が見られる。次に、図-5(a)から1999年鶴川河口域での実測濁度が50 mg/l以下と思われる9月12日の12時と150 mg/lを超える9月25日2時、50 mg/l前後の10月2日14時において、全水深のADCPの反射強度から推定した濁度を実線で、濁度計により測定された3層の実測濁度を●で図-6に示す。海底面に近づくにつれて濁度が高くなっている。3地点での実測濁度と推定濁度はほぼ一致しており、ADCPの反射強度から濁度の鉛直分布が推定できることがわかる。ただし、海表面付近は、砕波や船により発生した気泡の影響でADCPの反

射強度が濁度計の値よりも大きく測定されることに注意が必要である。また、ADCPの最下層の反射強度も少し減少する特性があることがわかる。

鶴川河口域と石狩川河口域における濁度の鉛直分布の推定例を時系列で図-7(a), (b)に示す。上側にはその地点での波高の実測値も示す。鶴川河口域では波高3mの高波浪時に9月25日、10月3日に濁度が高く、また、石狩川河口域では同じく高波浪時に11月15日と28日で濁度が高くなっており、波によって海底面付近の濁質が巻き上げられている状態がわかる。ただし、上層約2mから5mの範囲において大きい推定濁度が見られる。これは砕波や船により発生した気泡が海水中に混入しADCPの反射強度が実際の値よりも大きく測定されたものと考えられる。

5. 浮遊物質の移動量

図-8に、2001年石狩川河口域の濁度と採水分析によ

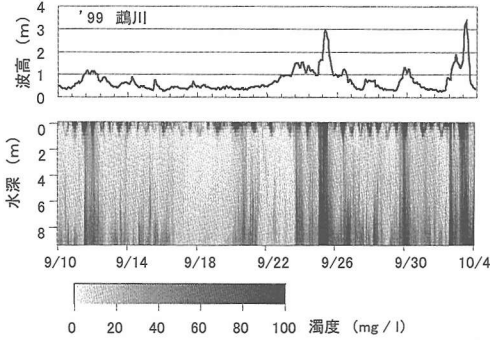


図-7(a) 波高と濁度の鉛直分布
(1999年鵜川河口域, 水深10m)

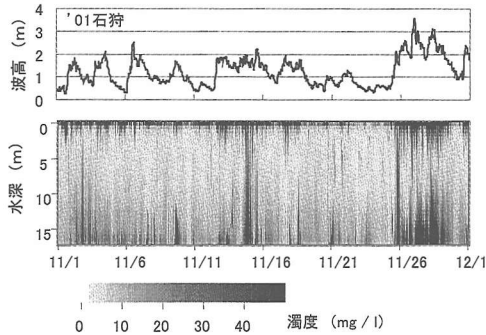


図-7(b) 波高と濁度の鉛直分布
(2001年石狩川河口域, 水深19m)

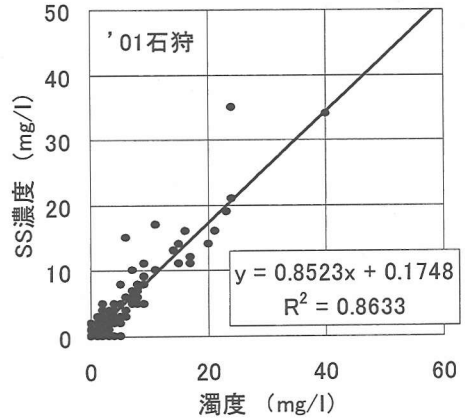


図-8 濁度とSS濃度

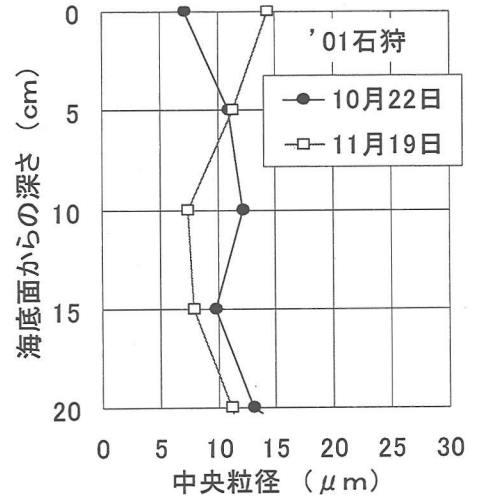


図-9 底質の中央粒径

る浮遊物質(SS)濃度を示す。濁度とSS濃度との相関は非常に高いことがわかる。この地点の10月と11月における底質粒径の鉛直分布を示したものが図-9である。中央粒径 $d_{50}=10\mu\text{m}$ 程度で粒径が細かく、鉛直方向にもあまり変化していない。そのため、粒径が数 μm のカオリンで検定した濁度の約0.85倍で、濁度とSS濃度に線型関係があるものと考えられる。以上のことより、濁度と流速から浮遊物質の移動量を求めることが可能であると考えられる。濁度の値については、海底面上14mから下層では推定濁度の値を用いたが、14mより上層については、推定濁度の値は気泡の影響が現れる海底面上16m付近までは変化が少ないため、この間の推定濁度を平均して用いることにした。

石狩川河口域では、観測期間中に濁質が下層で南西方向から北東方向にかけて大きく移動しており、上層では移動が小さくなっているのがわかった。図-10に海底面上1.5mから18mまでの全層合計の浮遊物質の移動量を11月1日から30日まで5日毎に示す。これを見ると、11月5日から10日の間で南東方向に移動量が多く、これは濁度の鉛直分布からもわかるように、高波浪時に底質が巻き上げられ、流れによって移動しているものと考

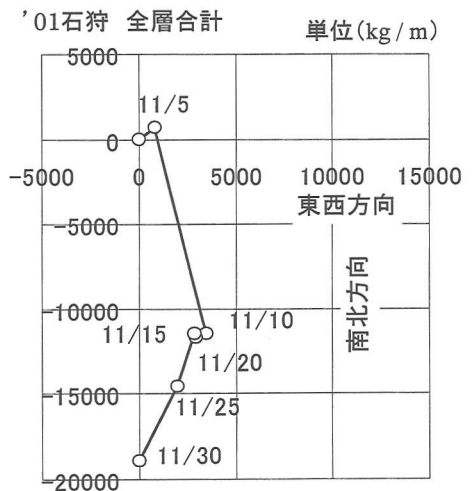


図-10 浮遊物質の移動量

えられる。また、観測期間中に1 mあたり約20トンの浮遊物質が南の方向に移動していることがわかる。

6. ま と め

ADCPの反射強度から濁度を推定する際には、ADCPからの距離による反射強度の減衰を考慮する必要がある。ここでは、濁度の値が鉛直方向に一様に低いときの反射強度データから減衰量を推定し、反射強度を補正する方法を提案した。補正した反射強度から、時空間的な濁度の変化を再現することがある程度可能であることがわかった。ただし、海面付近の上層では碎波による気泡の混入で反射強度が大きく測定されるため、反射強度から濁度を推定する際には注意が必要である。

底質粒径が10 μm 程度と小さい場合では、カオリンで検定した濁度とSS濃度の相関が良好で、濁度と流速

データを掛け合わせることで浮遊物質の移動量を算出することが可能であることがわかった。

実際に石狩川河口域において浮遊物質の移動量を求めたところ、11月5日から10日の間で多く移動しており、一ヶ月で1 mあたり約20トンの浮遊物質が南方向に移動していることがわかった。

参 考 文 献

- 泉宮尊司・國田知基・泉 正寿・永松 宏・石橋邦彦 (1999): 船体取付型 ADCP によるシルトおよび微細砂の濃度の時空間変動の現地観測, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 576-580.
- 山崎真一・奈良俊介・宮下将典・新山雅紀・山下俊彦 (2000): 鵲川河口海域における流動と底質の堆積・移動特性, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 646-650.
- 山崎真一・山下俊彦・渡邊康玄 (2002): 融雪期に鵲川から沿岸海域に供給された浮遊物質の挙動, 水工学論文集, 第 46 巻, pp. 911-916.