

# ADCP による沿岸水質の長期モニタリング

吉岡 洋\*・高山知司\*\*・田邊義隆\*\*\*・加藤久晶\*\*\*\*

## 1. はじめに

濁度や赤潮の長期間にわたる調査は沿岸環境のアセスメントに欠かせないが、多くの人手と費用を要する。ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) は流速測定に広く利用されているが、同時に得られる反射強度の鉛直分布はプランクトンなどの懸濁質の分布を反映しているので (Flagg and Smith, 1989), それを利用して濁度や赤潮のモニタリングができる可能性が示唆されてきた。しかし短期間の比較試験ではよい対応が得られても (川西ら, 1998), 長期間安定してモニタリングができるのか不明である。本研究では長期現地観測における水質データと ADCP データの相関を解析し、水質の長期モニタリング法を追求した。

## 2. 観測方法

1997 年秋 (9/5-9/30) および 1998 年夏 (5/30-8/30) に、大阪湾岸和田沖 (水深 14 m) で水質と ADCP 観測を実施した (図-1)。水質では、水温、塩分、溶存酸素、濁度およびクロロフィルが表層 (海面下 1 m)、中層 (海底上 7 m)、底層 (海底上 1 m) の三層で 10 分インターバルで記録された (クロロフィルは表層のみ) (図-2)。ADCP (ワークホース 1200 kHz: RD-Instrument) により、流れと反射強度を海底から海面まで全 30 層 (層厚 50 cm), 10 分インターバルで記録した。観測地点の海象条件を判断するために、観測地点から南西に 14 km 離れた関西国際空港 MT 局の波、風、流れ、潮位の毎時データも利用した。ADCP データおよび中層、低層の水質データは海底から一定の距離 (海底基準水深) の時系列データであるのに対し、表層の水質データは潮位変化に追従するブイに取り付けられた測器による常に海面下 1 m の距離 (海面基準水深) の時系列データである。水質計測機器は 2 週間に 1 度、ダイバーによって交換または洗浄されて観測精度の低下 (ドリフト) を防いでいる。その時には、水質の鉛直分布も計測した。

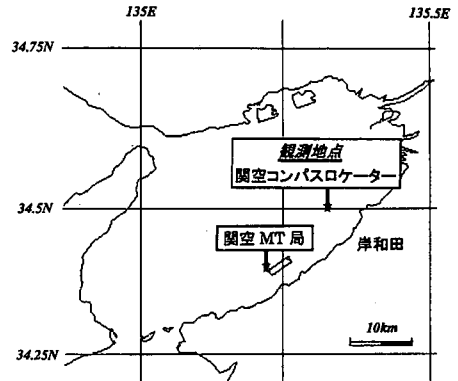


図-1 ADCP・水質観測地点および MT 局

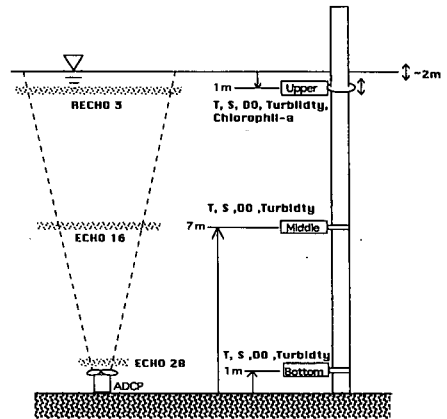


図-2 ADCP・水質観測設置状況

## 3. 観測結果

表層において、濁度はクロロフィルおよび溶存酸素と対応していることから、本観測中の濁度変化がプランクトンによる事を示している。一方、底層の濁度は高波浪時に高くなることから、底泥の巻き上がりである。ADCP の反射強度の中で水質観測深度に対応する層の時系列データを選んで、同時刻の反射強度と濁度の相関を見ると、下層ではいくらか対応が見られるが、上層では全く見られない (図-3)。

表層で対応が悪い 1 番の原因は、濁度は常に海面下 1

\* 正会員 理博 京都大学助手 防災研究所  
\*\* フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所  
\*\*\* 学生会員 京都大学大学院工学研究科  
\*\*\*\* 正会員 (前)関西国際空港(株)調整部

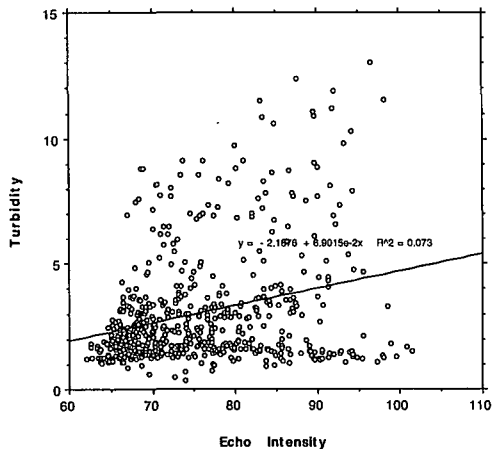


図-3 表層濁度と反射強度の対応

mの深さで計測されているのに、ADCP データは海底からの距離で層が決まっていることによる。海面付近では反射強度が著しく大きくなるので、海面からの距離が変わる反射強度データにはその影響が大きい。2番目の原因は碎波によって表層に気泡が発生する時、濁度計は気泡をほとんど検知しないが、ADCP は検知することによる。一方、中底層で対応がよくない原因は濁度記録にスパイク状の高濁度が6~7月に頻発することである。この異常値は他の水質と対応が無く、波や流れのないよんだ条件で頻発するので、濁度計の窓に濁質が付着して起こるノイズと考えられる。また全層でいえることだが、濁度と反射強度の時系列データを時間軸グラフで並べてみると対応が見られるのに同時刻で相関を求めると対応が悪い。詳細に比較すると、対応に当たりはずれや時間的なずれがよく見られた。底泥の巻き上がりは空間的に小さなスケールの現象で、本観測のように濁度計と

ADCP とが 20 m 以上離れていると濁度と反射強度が同時に変動することは期待できないといえる。

第1の原因を除くために、上層水質と比較する ADCP データ (ECHO) を常に海面基準水深一定の時系列データ (RECHO) に変換した。第2の原因を除くために、気泡による反射強度の増加分を波高データを用いて見積もった。さらに隣接する3個の濁度の最小値を選ぶランニングフィルターをかけてスパイクノイズを除いた(図-4)。濁度と反射強度の対応に当たりはずれや時間的なずれがあるため同時刻データの比較から相関を求めないで、目視で対応する点を選択して相関を求めることにした。

#### 4. 濁度予測式の設定

##### 4.1 海面基準水深データの作成

ADCP の鉛直分解能は本観測では 50 cm であるので、最大反射層を海面とすると 50 cm 刻みで海面が変化することになる。より高精度で海面を求めるためには適当な補間が必要である。水面付近では、真の反射強度は、水面を境とする線対称形であると仮定すれば、観測値は 50 cm 間の平均なので、最大値およびそれを挟む2層の観測値から図-5 に示す関係式が導かれる。この方法で補完して海面および海面反射強度を定め、海面からの距離で反射強度を再構成して時系列データを求めた。海面予測値と MT 局の潮位を比較すると、予測精度は 10 cm 以下に向上している (図-6)。この新しい反射強度時系列データは海面下深度で層分けされているので、潮位変化による影響は微小である。このデータを用いて海面近傍の反射率の変化を見ると、水深 0 m から 1 m まで急激に反射強度が落ちて海面反射の影響を示しているが、2 m と 3 m ではほとんど等しく、この深さでは海面の影響がなくなり反射強度は水質を反映していると期待でき

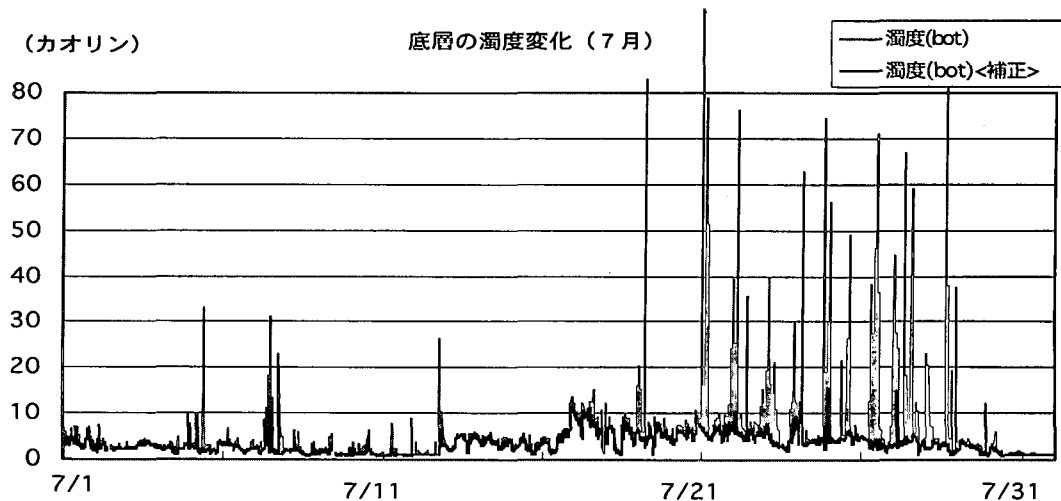
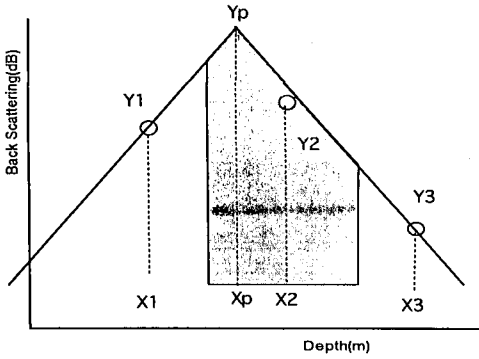


図-4 底層濁度とノイズ除去結果



$$d = X_3 - X_2 = X_2 - X_1$$

$$A = \frac{1}{3} [Y_1 + Y_3 - 2Y_2 - \sqrt{2[(Y_1 - Y_2)^2 + (Y_2 - Y_3)^2 + (Y_2 - Y_1)^2]}]$$

$$X_p = X_2 + \frac{d(Y_1 - Y_3)}{2A}$$

$$Y_p = -A + \frac{Y_1 + Y_3}{2}$$

図-5 補間による海面決定法

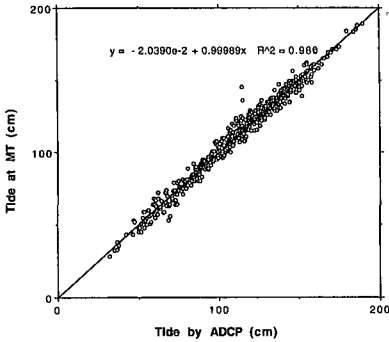


図-6 補間による海面予測値とMT局潮位

る。しかし濁度は海面下1mで計測されているので反射強度も海面下1mのデータを当てれば良いのであろうか？そこで気泡の影響のない小波高時（波高30cm以下）で波形勾配が0.01より小さいデータを抜き出して、1mから2mまでの反射強度時系列と濁度の相関を調べて見ると、水深1mで最も相関が良くそれ以外でも水深でも相関が悪くなった。そこで表層の濁度と比較する反射強度としてこの海面下1mの反射強度データを用いることにした。

4.2 気泡の影響

反射強度 (E) から濁度 (D) を予測する式として、

$$D = a(E - B) + c$$

$D$ : Estimated Turbidity  
 $E$ : Echo observed by ADCP  
 $B$ : Echo added by Air Bubbles

を仮定した。さらに、気泡による反射強度増加分 (B) が砕波の強さに依存するとして、濁度が4カオリン以下、クロロフィル蛍光強度が7μg/L以下(すなわち、反射強度はほとんど気泡の影響と思われる)の時のデータから、反射強度と有義波高や波形勾配との相関を調べた。本観測では現場の波浪データが無いので、波高や周期はMT局の有義波値で代用した。そのために、風向きによって両地点ではフェッチが異なるので、風向きを4象限に分けて解析した結果、気泡による反射強度の増加は波形勾配 (H/L) に比例すると仮定して比例定数 f を求めた (図-7)。

$$B = fH/L$$

$H$ : Wave Height  
 $L$ : Wave Length  
 $L = 1.56 TT$      $T$ : Wave Period  
 $f = 340$      $0 < WD < 90$   
 $f = 290$      $90 < WD < 180$   
 $f = 160$      $180 < WD < 270$   
 $f = 420$      $270 < WD < 360$   
 $WD$ : Wind Direction

4.3 濁度予測式

上層の濁度と反射強度の対応を求めるために、気泡の影響のない時 (B=0) として、有義波高が0.3m以下で有義波周期が4秒以上の場合 (波形勾配<0.01に相当) の濁度と反射強度の相関式を求めた (図-8)。

$$E_u = 2.0D_u + 74$$

$E_u$ : Echo at Surface layer  
 $D_u$ : Turbidity at Surface layer

これに気泡の影響 (2) を代入して上層の濁度予測式 (4) が求まった。

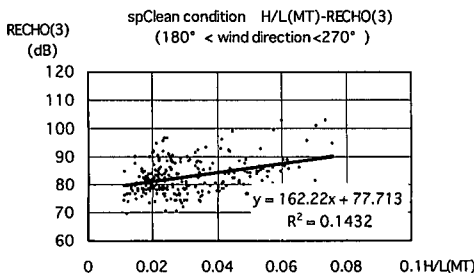
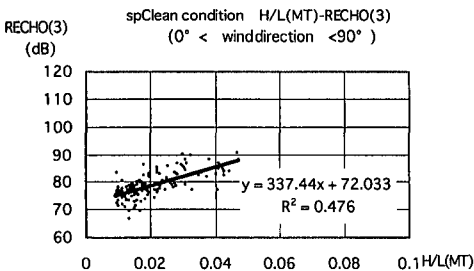


図-7 風向別の波形勾配と反射強度の相関

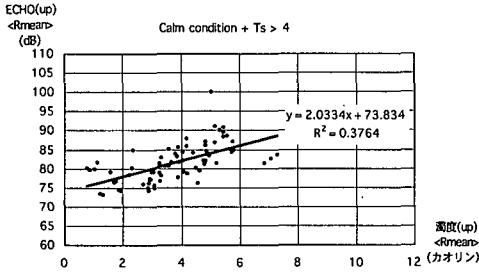


図-8 表層濁度と反射強度の相関

$$\left. \begin{aligned} D_u &= 0.5(E_u - 340H/L) - 37 & 0 < WD < 90 \\ D_u &= 0.5(E_u - 290H/L) - 37 & 90 < WD < 180 \\ D_u &= 0.5(E_u - 160H/L) - 37 & 180 < WD < 270 \\ D_u &= 0.5(E_u - 420H/L) - 37 & 270 < WD < 360 \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

下層濁度にはスパイクノイズフィルターおよび1時間ローパスフィルターをかけ、さらに目視で対応が確実な点を選抜して(図-9), 反射強度との相関(5)を求めた。

底層では気泡の影響がないので,  $f=0$  として底層の濁度予測式(6)が求まった。

$$D_b = 1.2E_b - 73 \dots \dots \dots (6)$$

式(4)と式(6)を比較して下層の比例常数  $a$  が上層の倍以上になったのは, 懸濁質の光吸収率の差(上層はプランクトン, 下層はシルトが主成分)が効いているのであろう。

5. 予測結果

以上の式を用いて, 底層の濁度を反射強度からはほぼ正確に予測できた。時々予測値が上層下層ともに下回るのは巻き上げられた底泥が, ADCP トランスデューサーを覆い被さって発信受信を妨げたためであろう(図-10)。上層はまだ予測精度が不十分であるが(図-11), 反射強度が濁度と対応しないのに, クロロフィルや溶存酸素と

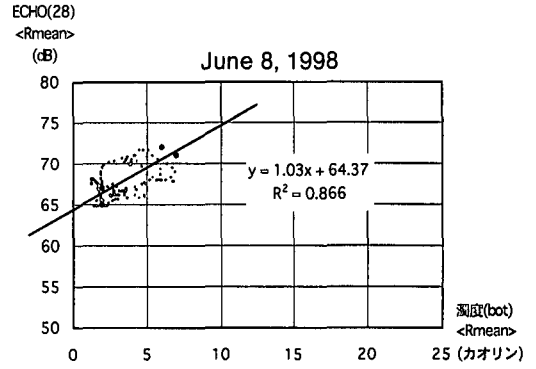
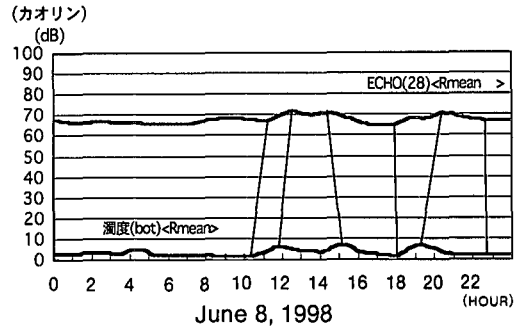


図-9 底層濁度と反射強度の相関

対応して(図-12), 濁度計では見逃した赤潮を検知しているケースも見られ, 濁度計の代用以上の役割が期待できる。

6. まとめ

- (1) 表層では, ADCP 反射強度に懸濁質の他に気泡および水面反射の影響が顕著であり, それらを除去しないと濁度との良好な対応は得られない。
- (2) 海底設置の ADCP の場合, 反射強度の鉛直分布の最大値およびそれを挟む2層の値から適切な補間式で水面を検知し, 海底からの距離で層分けされている反射

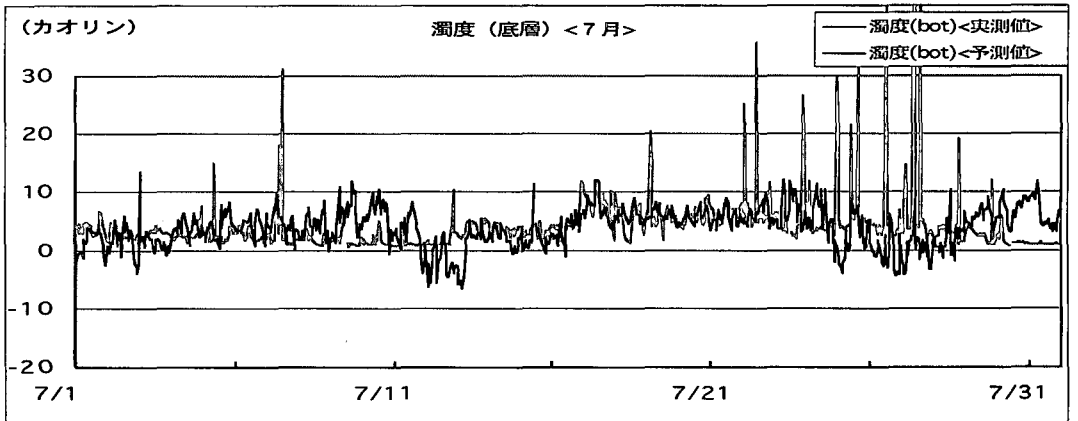


図-10 底層の実測濁度と濁度予測値

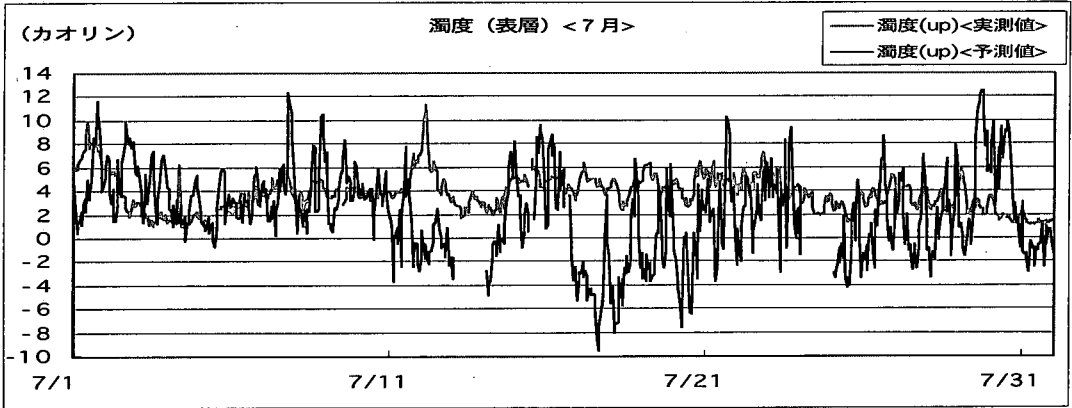


図-11 表層濁度と濁度予測値

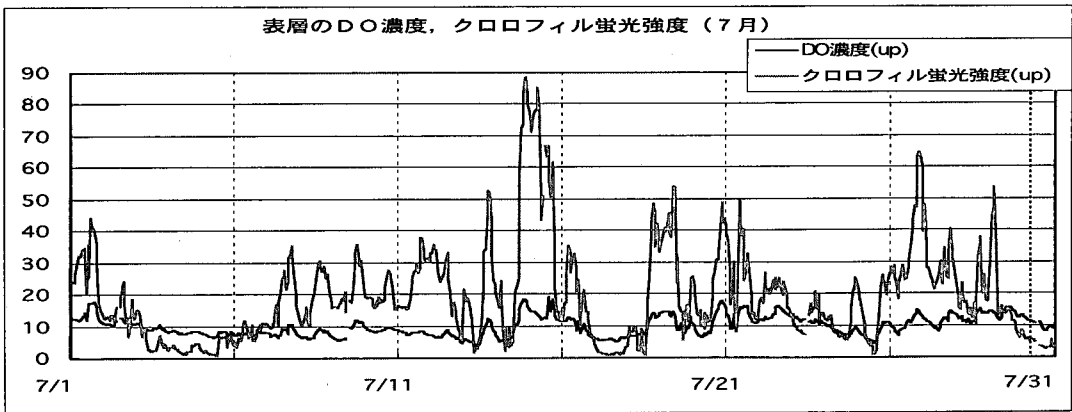


図-12 表層クロロフィルと溶存酸素

強度データを水面からの深さで層分けしたデータに変換して、水面の影響を除いた。

(3) 水中気泡は風波碎波で発生するので、反射強度に対する気泡の影響は波浪データから見積もれると仮定してその対応を解析した結果、波高よりも波形勾配の方が精度よく見積もれた。

(4) 以上の方法で反射強度から表層の濁度を予測する式が得られたが、まだ予測値と実測値との対応が不十分であった。これは気泡の影響を除去するにあたり、現地波高データがないので14 km離れた関西空港MT局の波高データで代用したことに一因がある。

(5) 予測濁度が実測濁度と対応しなくても、クロロフィルaや溶存酸素の変化と対応して、濁度計が検知しなかった赤潮を反射強度が検知した場合も見られた。

(6) 底層濁度記録には6～7月にスパイク状の高濃度が頻発するがこれはノイズである。8～9月にはほとんど発生しない。またADCPと濁度計が20～40 mほど離れているため底層において濁度と反射強度の対応に時間的なずれやあたりはずれがしばしば見られた。そのた

め、スパイクノイズを除いた後、目視で対応が良好な点を選択して相関を見る必要がある。

(7) 以上の方法で、底層の海底の巻き上がりによる濁度変化をほぼ予測することが出来たが、巻き上がった底泥がADCPのトランスデューサーを覆って、反射強度の減少を招くことがある。この影響は底層のみならず全層に及んだ。

今後は、ADCPと水質をより近距離で比較計測するとともに、現地で波高計測を行い、さらにプランクトンや濁質をサンプリングして濁質の組成を定量的に分析し、それがADCP反射強度や水質変化にいかにか反映しているかを明らかにしていく。

#### 参 考 文 献

- 川西 澄・内田卓志・松山幸彦・余越正一郎 (1998): 浅海域におけるADCPを用いた濁度分布の観測, 沿岸海洋研究, 35巻, 2号, pp. 203-210.
- Flagg, C. N. and S. L. Smith (1989): On the use of the acoustic Doppler current profiler to measure zooplankton abundance, Deep Sea Res., Vol. 36, No. 3, pp. 455-474.