

東京湾沿岸域における音響装置を用いた 詳細な底質分布図の作成とベントス生息状況

岡田知也*・古川恵太**

音波の底面反射時の波形形状を利用して底質判別を行う装置を用いて、東京湾の詳細な含水比分布図を作成した。含水比分布図は、横浜・川崎港、東京港、千葉、市原の沿岸域に含水比150以下の領域が点在していることを示した。また、横浜港・川崎港内にも、含水比が150以下の領域が点在していることを示した。ベントスに関して、横浜・川崎と中ノ瀬を比較すると種類数および多様性指数ともに同程度であり、横浜・川崎港内に点在する小規模な低含水率の領域は生物生息場として良好に機能していることを示した。音響装置を用いた面的な底質調査は、このようなうずもれた場を見つけ出すのに有用である。

1. はじめに

東京湾の様に環境の悪化が著しい内湾の沿岸域および港湾域の再生・復元（国土交通省港湾局，2003）において、わずかでも現存する生物の自己再生力を有効に活用することが、効率的・効果的な自然再生手法であると著者らは考える。

現在、造成干潟・人工海岸および覆砂等をはじめ、東京湾およびその他の湾で実施・計画されている自然再生事業のスケールは高々数100 mである。東京湾のように高度に利用された港湾域では、自然再生のための広大な用地は望めず、この程度のスケールのものを数多く作ることが、現在可能な手段の一つである。

この程度のスケールに対して周辺水域が著しく環境悪化している場合には、人工的に作った領域が周辺環境に同化し、環境再生は非効率である。少しでも良好な環境が残っている場を利用し、その場の生物を拡大するような手立てを講じた方が効率的であろう。また、環境が良好な場の把握は、その場の直接的な利用の他に、そのような場の平面分布から生物ネットワークを利用した広域の環境再生への活用も期待できる。

そのためには、まず、これまでの環境調査で見落としていたような比較的小さなスケールの調査を行う必要がある。水域の環境指標には、水環境と底質環境があるが、水環境は場の環境を決める要因であり、底質環境は場の環境の姿を現すものとする。底質は水質から受動的に決まり、水質の影響を蓄積し、短期的な要因変動には強くは依存しないからである。したがって、底質は場の環境を示す良い指標となる。

底質を広域かつ詳細な空間スケールで調べる手法とし

て、音波を用いた手法がこれまでに提案されている。例えば、2種類の異なった周波数を用いて底泥厚さを測定する手法（岡部ら，1991；日本海洋学会編，1986；田口・田畑，2001，五十嵐・佐々木，2004），海底散乱音を用いて底質を区別する手法（日本海洋学会編，1986），および1次エコーと2次エコーを用いて底質を区別する手法（Collins・Voulgaris，1993；Dyerら，1997）等である。これらには、測定項目が底泥厚さであったり、水深や濁度に強く依存する短所があり、広く実用されている手法は今のところまだない。

そこで、音波の反射時の波形情報を用いて底質を区別する新たな装置の適用性を検討すると同時に、東京湾の沿岸域の詳細な底質分布図を作成した。そして、その底質分布図から、沿岸域に良好な底質が残っているか検討した。さらに、その底質分布図が示す良好な底質の場が、生物生息環境の場として機能しているかを、ベントスの生息状況から検討した。

2. 調査手法

（1）音響装置を用いた底質調査

a) 使用機器

底質分布調査には、QTC（Quester tangent 社製）を用いた。本装置の特徴は、反射強度等の音響特性に加えて受信音波の波形特性を底質区分の情報として用いていることである。底面に反射した音波の波形は、表面が滑らかな底質の場合には表面付近でピークをとった後に速やかに減衰し、表面が粗い底質の場合には表面付近でピークをとった後になだらかに減衰する（Prestonら1999）。本装置はこの特徴を利用している。

本装置は、一つの音響データに対して、波形形状および音響特性に関する166項目のデータ（FFV：Full Feature Vectors）を取得する（Prestonら，1999）。（ただし、この166項目の詳細に関しては公開されていない。）本装置のパッケージは、全ての音響データのFFVデー

* 正会員 博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部
海洋環境研究室 主任研究官

** 正会員 博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部
海洋環境研究室 室長

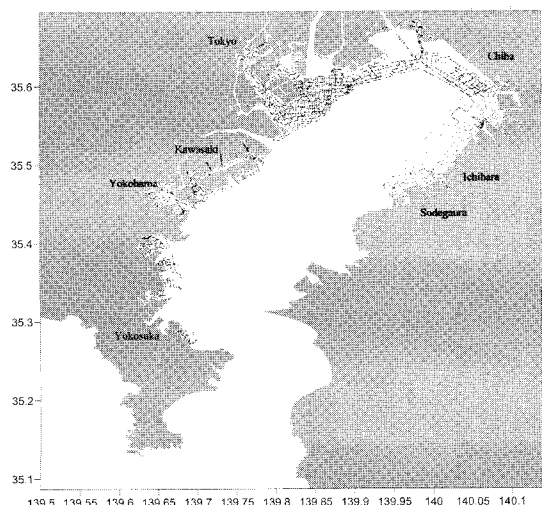


図-1 音響装置を用いた底質調査の航跡図

タから主成分分析を用いて第1から第3主成分を求め、底質をグループ分けする。本装置を用いて、底質を礫、砂、泥に区分した事例はあるが (Preston ら, 1999; Preston・Collins, 2000; Tsemahman・Collins, 1997)、泥質の底質を砂混じりの泥からシルトに連続的に判別した事例はない。本検討では、本装置を用いて泥質を連続的に区分する試みとして、第1主成分と含水比の関連付けを行い (岡田・古川, 2005)、それを東京湾の底質に適用した。

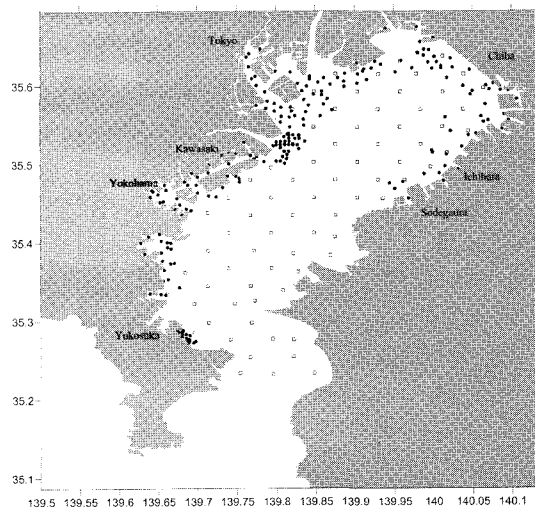
b) 調査条件

調査は、東京湾内の横須賀沿岸から千葉沿岸まで実施した (図-1)。航行間隔は水域の空間スケールによって数 km から数10 m とした。調査船の航行速度は8~10 ノットとした。

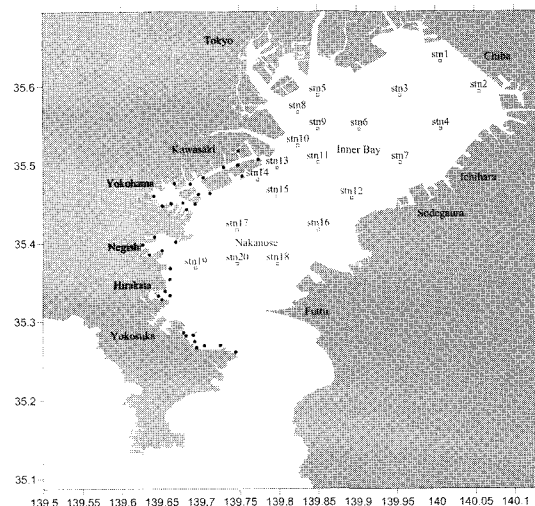
音波の周波数は50 kHz、音波のビーム角度は42°、データ取得頻度は2.5 Hz であった。一つの音響データは5波の平均値を用いた。したがって、一つの音響データの測定範囲は約18×8 m である。

(2) 採泥調査

採泥は3つに分けられる。①東京湾の底質の特徴把握のための採泥。②沿岸域の含水比と中央粒径の関係把握のための採泥、および③沿岸域および内湾域のベントス調査のための採泥。採泥①では、内湾の75地点に対して、含水比、強熱減量、密度、COD、硫化物、T-P、TOC、T-N および中央粒径を分析した (図-2(a))。採泥②では、沿岸域の268地点に対して、含水比および中央粒径を分析した。採泥③では、沿岸域32地点、内湾域20地点に対し、ベントスの湿重量、種類数および個体数を分析した (図-2(b))。ベントス調査は底層の貧酸素化の影響を直接受けない3月に実施した。



(a) 底質



(b) ベントス

図-2 採泥地点の位置

3. 結 果

(1) 音響装置の精度

含水比と音響装置出力値 (第1主成分) の関係を図-3に示す。図中のプロットは音響測定地点と採泥地点が同じ75地点のデータを用いた。両者の相関は $R^2=0.49$ であった。両者は強い相関と言えないまでも良い相関である。含水比が大きい底質は、半液状であり中央粒径は小さい (図-4(g)) ことから底面表面は滑らかである。一方、含水比が小さい底質は、砂質系であるので底面表面は凸凹している。このように、含水比は底質の粗さを表現していると考えれば、第1主成分は底面の粗さを意味していると考えられる。

両者には相関があるが、測器の精度としては必ずしも

十分ではない。そのため現状では、多地点の音響データを用いてグリットデータを作成することによって、データを平均化する必要があると考えている。例えば、本検討では、一つのグリットデータに対して、20個以上の音響データを用いている。

なお、ばらつきの要因の一つは、音響測定範囲（18×8 m）と採泥範囲（0.05 m²）の差と考えられる。このばらつきを小さくするためには、1つの音響データの測定範囲に対して多くの採泥を実施し、その範囲内の平均含水比を求めて関連付けをする必要があるだろう。

(2) 含水比と各底質指標の関係

底質の強熱減量、COD、TOC、T-P、T-N、硫化物および中央粒径は、含水比と強い相関があった（図-4）。含水比が100以下の底質は、強熱減量：6%以下、COD：10 mg g⁻¹以下、TOC：10 mg g⁻¹以下、T-P：0.5 mg g⁻¹以下、T-N：1.5 mg g⁻¹以下、硫化物：0.5 mg S g⁻¹以下、中央粒径：0.04 mm以上である。一方、含水比300以上の底質は、強熱減量：10%以上、COD：40 mg g⁻¹以上、TOC：25 mg g⁻¹以上、T-P：0.8 mg g⁻¹以上、T-N：3.0 mg g⁻¹以上、硫化物：1.0 mg S g⁻¹以上、中央粒径：0.005 mm以下である。

海域の栄養階級区分として、CODの値は、腐水域および過栄養域では30 mg g⁻¹以上、富栄養域では5~30 mg g⁻¹、貧栄養域では5 mg g⁻¹以下であり、硫化物の

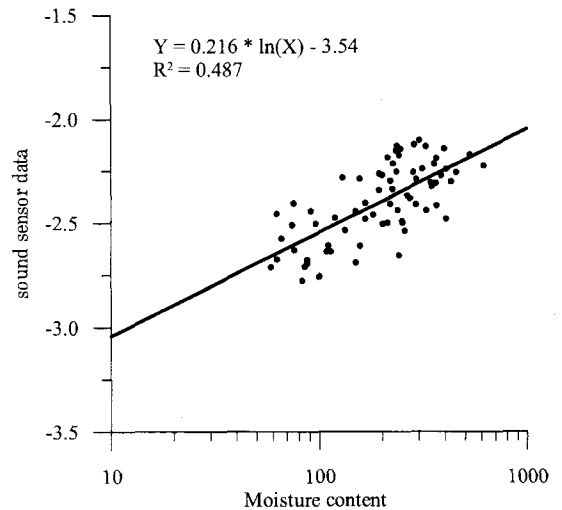


図-3 採泥値(含水比)と音響装置出力値(第1主成分)の関係

値は、腐水域で1.0 mg g⁻¹以上、過栄養域で0.3~3.0、富栄養域で0.03~0.3、貧栄養域で0.03以下である（日本海洋学会編，1979）。これから、東京湾においては、含水比100以下の底質は砂混じりの富栄養化していない底質であり、含水比300以上の底質はいわゆるヘドロといえよう。

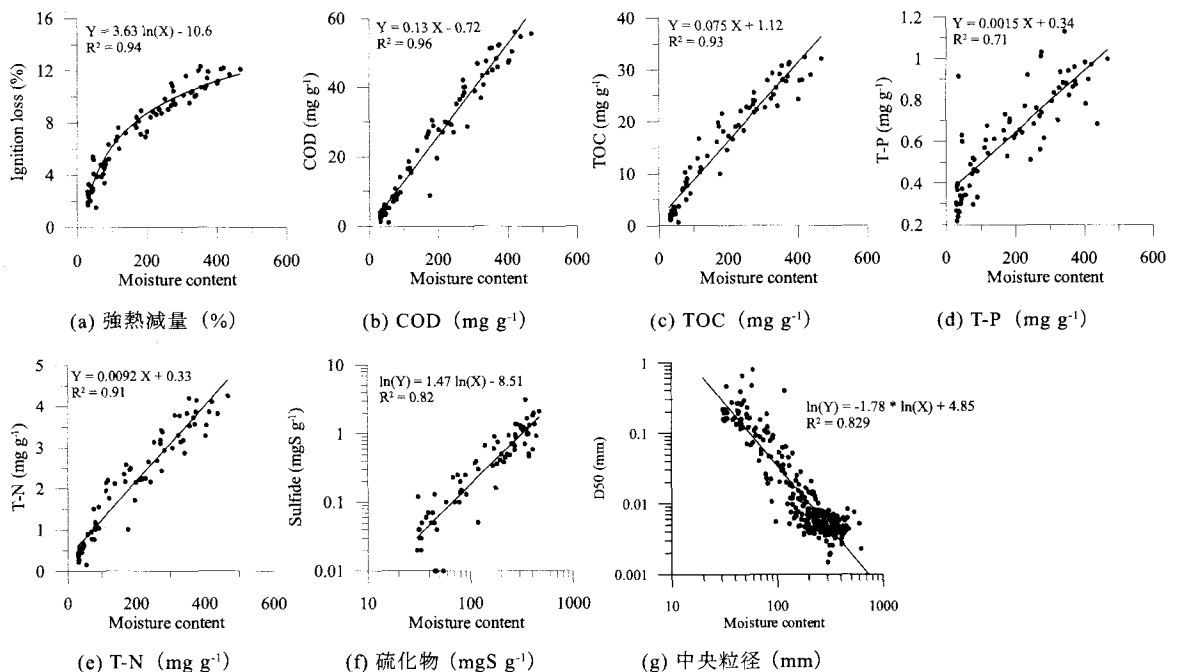
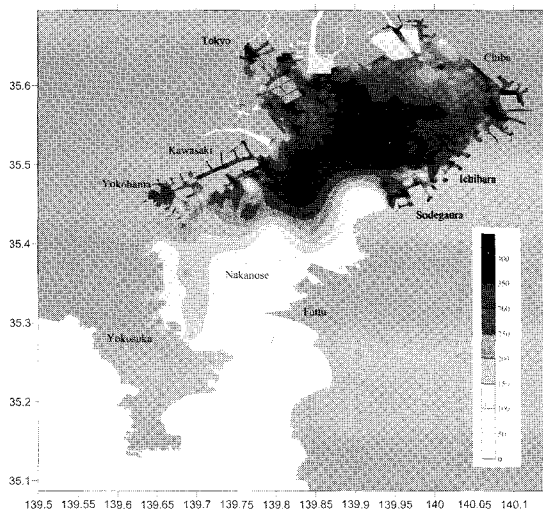
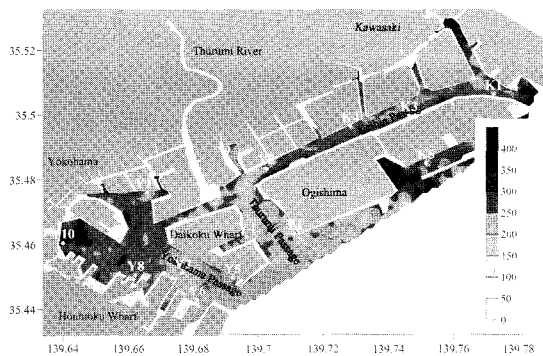


図-4 含水比と各底質指標の関係、(a) 強熱減量 (%), (b) COD (mg g⁻¹), (c) TOC (mg g⁻¹), (d) T-P (mg g⁻¹), (e) T-N (mg g⁻¹), (f) 硫化物 (mg S g⁻¹), (g) 中央粒径 (mm)



(a) 東京湾



(b) 横浜・川崎周辺水域

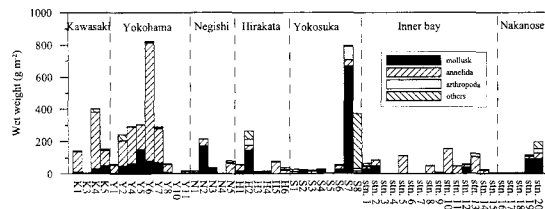
図-5 音響装置および採泥データを用いて作成した含水比の分布図, (a)東京湾, (b)横浜・川崎周辺水域

(3) 含水比の分布図

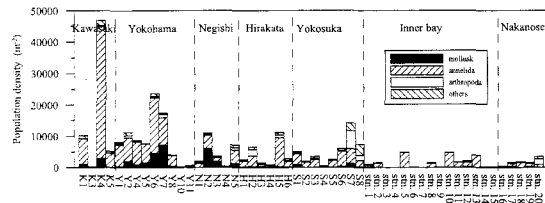
東京湾の含水比分布図を図-5(a)に示す。含水比分布図は、沿岸域174地点、内湾75地点の採泥値および音響装置データを用いて作成した。

含水比分布図は、横浜－市原以北の比較的高い含水比が高い水域において、横浜・川崎港沿岸、東京港沿岸、千葉沿岸、市原沿岸に含水比が150程度の領域が点在していることを示している。既往の東京湾の底質分布（例えば、小倉、1993）は、このような沿岸域の低含水比領域の点在および内湾から沿岸への連続的な含水比分布は示していない。このように、低含水比の領域を見つけ出せること、および、それらをポイントではなく連続性がある分布として示せるところが、面的にデータを取得できる音響装置の利点である。

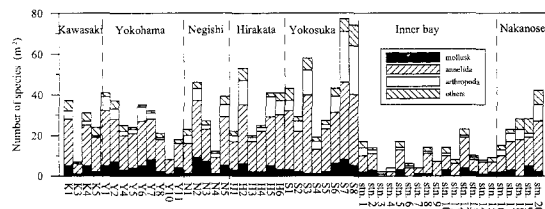
また、横浜・川崎港内を拡大した含水比の分布図（図-5(b)）によると、横浜港の奥は250以上の含水比であるが、横浜航路・鶴見航路には比較的大い範囲に含水比



(a) 湿重量



(b) 個体数



(c) 種類数

図-6 東京湾の沿岸域および内湾の3月におけるベントスの (a)湿重量, (b)個体数, (c)種類数. 各水域を川崎, 横浜, 根岸, 平潟, 内湾, 中ノ瀬に区分した

150程度の領域が存在していること、京浜航路の中にも小さな領域であるが含水比150以下の領域が点在していること等がわかる。

図-4 の関係を用いれば、港内には腐水域に分類される底質は少なく、全体的には過栄養化域に分類され、その中には過栄養化に達していない領域が多数点にあることになる。

(4) 沿岸域のベントスの生息状況

横須賀から川崎までの沿岸域の3月におけるベントスの種類数、湿重量、個体数を図-6に示す。ベントス調査地点は、図-5において含水比が200以下の地点を選んだ。なお、含水比および水深は、採泥地点間で合わせていない。

横浜・川崎港内と東京湾外湾に位置する平潟・横須賀と比較すると、湿重量および個体数は横浜・川崎の方が大きく、種類数は平潟・横須賀の方が大きい。横浜・川崎の湿重量および個体数は環形動物門が主体であり、節足動物門が少ない。横浜・川崎のサンプル中のベントス個体数中に占める汚濁指標種個体数の割合(%)は50%程度である(図-7)。ここで、汚濁指標種として、多毛類のイトゴカイの一種 *Capitella capitata*、ヨツバネスピオ (A型とB型) *Paraprionospio sp.* (type A and B)、小型二枚貝のシズクガイ *Theora fragilis*、チヨノハナガイ

Raeta rostralis を用いた。汚濁指標種は、貧酸素化の生じる海域でも生息できる種であったり、環境悪化にベントス群集が消失した後に環境が好転すると速やかにその空間を利用して優占的に出現する種であったりする。横浜・川崎の周辺海域では、夏期に貧酸素状態となることから、汚濁指標種の割合が高くなっていると考えられる。

横浜・川崎のベントス量を内湾と比較すると、個体数、湿重量および種類数ともに、横浜・川崎の方が大きい(図-6)。東京湾内湾で横浜・川崎のベントスの種類数に匹敵するのは stn.16-20 (中ノ瀬周辺)である。この中ノ瀬周辺は、夏期でも貧酸素化せず、底質も砂質であり(図-5)、内湾の中では環境が良いとされている領域である。

横浜・川崎を中ノ瀬と比較すると、軟体動物、環形動物、節足動物の分類では、両者はほぼ同等の出現種の構成である。汚濁指標生物の割合で比較すると、中ノ瀬の値は30%程度であり、横浜・川崎よりも低い。しかし、Shannon-Weaver の多様度指数(日本海洋学会編, 1986)で両者を比較すると、両者は約3で同等である(図-7)。この値は内湾の約2と比較して高い。

4. おわりに

汚濁指標生物の割合が多く、かつ種類数および多様度ともに小さい場合は、たとえ富栄養化していない底質としても、周辺環境の悪影響によって点在する小領域は生物生息場としては適さない。そのような場に小規模な自然再生事業を実施しても、良い結果は期待できない。しかし、横浜・川崎は、汚濁指標生物の割合が高いものの、種類数および多様度ともに高い。このことは、横浜・川崎に点在する含水比の低い領域は、良好な生物生息場として機能するポテンシャルを有していることを示し、自然再生の核となる場として活用があると考えられる。

横浜・川崎のように富栄養化した海域で、このような小規模に点在する良好な底質な場を見つけ出す調査手法として、音響装置を用いた底質調査は十分利用可能である。また、音響装置を用いた調査は、採泥のようにポイントのデータではなく面的な分布を示すため、良好な底質の存在だけでなく、良好な底質が面的にどのように分布しているかの情報を示し、環境整備のゾーニングに利用しやすい利点がある。

本検討では、音波の底面反射時の波形形状を利用して底質を区分する装置を用い、連続的な含水比の分布を描くための検定曲線を独自に作成し、東京湾の底質分布図を作成した。前述したような利用用途・解像度に対しては十分な精度があが、精度向上のためのデータの処理法

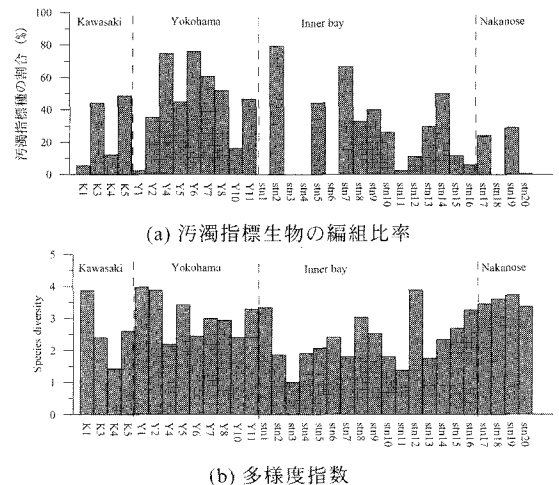


図-7 川崎・横浜および内湾・中ノ瀬の(a)汚濁指標生物の編組比率, (b)多様度指数

など、改良の余地は十分ある。今後の課題としたい。

参考文献

- 五十嵐学・佐々木淳(2004): 東京湾湾奥における浮泥堆積層厚の空間分布特性, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 981-985.
- 岡田知也・古川恵太(2005): 音響底質識別装置を用いた東京湾沿岸域の底質分布図の作成, 海洋開発シンポジウム.
- 岡部保・入江功・瀬江毅・永井康平・浅川勉(1991): バンジャルマシン港航路のシルテーション特性, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 491-495.
- 小倉紀雄(1993): 東京湾, 恒星社厚生閣, 193p.
- 国土交通省港湾局監修(2003): 海の自然再生ハンドブック第1巻, ぎょうせい, 107p.
- 田口一夫・田畑雅洋(2001): 海洋計測工学概論, 成山堂書店, 322p.
- 日本海洋学会編(1986): 沿岸環境調査マニュアル(底質・生物篇), 恒星社厚生閣, 266p.
- 日本海洋学会編(1979): 海洋環境調査法, 恒星社厚生閣, 666p.
- Collins, M.B. and G. Voulgaris(1993): Empirical field and laboratory evaluation of a real-time acoustic sea bed surveying system, Proc. Inst. of Acoustics, 15, pp. 343-351.
- Dyer, C., K. Murphy, G. Heald and N.G. Pace (1999): An experimental study of sediment discrimination using 1st and 2nd echoes, High Frequency Acoustic in Shallow Water, pp. 139-146.
- Preston, J.M., W.T. Collins, D.C. Mosher, R.H. Poedert and R.H. Kuwahara (1999): The strength of correlations between geotechnical variables and acoustic classifications, proceedings of MTS/IEEE Oceans.
- Preston, J.M. and W.T. Collins(2000): Bottom classification in very shallow water by high-speed data acquisition, proceedings of MTS/IEEE Oceans, pp. 1277-1282.
- Tsemahman, A.S. and W.T. Collins (1997): Acoustic seabed classification and correlation analysis of sediment properties by QTC View, proceedings of MTS/IEEE Oceans.