

— 短 報 —

海底近傍に着目した沿岸海洋観測における音響測深の問題と対策*

木戸 和男**・門谷 茂†

要 旨

海水中の音速は水温・塩分と圧力によって決まる。しかし、海洋観測の基本情報である水深の一般的な測定方法である音響測深では、通常、音速を一律に 1500 m s^{-1} として水深を決定しているために、必ずしも正しい水深を得ているわけではない。この曖昧さが、「海底からの高さ」が重要な沿岸海域における海底近傍の研究の大きな障害になっているものと思われる。

本稿では、音速を利用した音響測深機の水深測定と圧力を利用した CTD (多筒採水器を含む) の深度測定、各々の誤差を T-S ダイアグラム上に示して両者の大きさを比較し、音響測深機は必ずしも正確に測深していないことを明らかにした。すなわち、水温 $0-25^{\circ}\text{C}$ 塩分 $25-35$ の範囲では、CTD の深度測定誤差が 1% 未満であるのに対して、音響測深機の水深測定誤差は最大 4% に達する。例えば、簡単のため水深 100 m で鉛直的に均質な水柱を考えると、海底近傍では CTD の深度測定誤差が採水器の長さ程度の 1 m 以内であるのに対して、音響測深機の水深測定誤差は最大 4 m に相当し、音響測深機による水深を基にして海底からの高さを正確に把握した観測を行うことの難しさを示している。その対策として、着底させることで不確かな水深測定に関係なく海底直近までの機器測定と、正確な高さでの採水が行える海底直上採水システムを提案し、その概略を紹介した。また、試験運用結果から、この方法によって観測することができた海底近傍における濁度・溶存態無機窒素・溶存酸素濃度の急勾配の変化の一例を示した。

キーワード：音響測深の誤差，海中の音速，海底からの高さ，海底直上採水システム

1. はじめに

かれこれ 40 年近く前、海洋観測ではまだ転倒温度計を装着したナンセン採水器が主力の時代のことである。なるべく海底に近い水温・塩分や溶存酸素量、栄養塩濃度を測定するために海底から 1 m 上を狙って取り付けられた採水器で泥混じりの海水が採取され、採水器の着底を示していたことが時折あった (Group of Funka Bay Studies, 1974)。その原因をいくつか考えた末、水温・

* 2012 年 10 月 9 日受領；2013 年 6 月 14 日受理
著作権：日本海洋学会，2013

† 北海道大学大学院水産科学研究院・環境科学院
〒060-0810 札幌市北区北 10 条西 5 丁目

** 連絡著者：木戸 和男
北海道立総合研究機構 地質研究所
〒047-0008 小樽市築港 3-1
TEL: 0134-24-3829 FAX: 0134-24-3839
e-mail: kido-kazuo@hro.or.jp

塩分の水柱内平均値を用いて Wilson (1960) の式による簡易的な音速計算を行ってみた。その結果、音速の変化による水深測定の誤差が原因となった可能性が高いということになったが、有効な対策を立てられないまま観測期間を終えてしまった。

沿岸海域、特に比較的静穏な内湾域では、水質汚濁や貧酸素あるいは無酸素水塊の発生などの問題が生じやすい。なかでも海底近傍は、有機物に富む堆積物や、沈降を妨げられて集積した有機物が高濃度に存在し、堆積物と海水との間で物質交換が盛んに行われているために、さまざまな問題の発現地として注目すべき重要な領域である。ところが、この領域では物質の濃度が急激に変化している可能性があるために、機器測定や採水を行う層の「海底からの高さ」(谷本・川名, 1980)を正確に把握しておかなければ、測定結果の解釈に大きな誤りが生じる恐れがある。例えば、海底から一定の高さにおける物質濃度の時系列変化を観測することを考えてみたい。音響測深で得た水深に対して、ワイヤー長で測定器や採水器の深度を海底からの目的とする高さに「数字の上で」正確に保ったとしても、測定した水深が誤っていれば海底からの実際の高さは目的とするものとは異なる。すなわち、測定した物質濃度の変化は目的の高さにおける真の変化なのか、それとも単に海底からの実際の高さが各観測回で違ったことによる変化なのか定かではない。試料は採取した層の曖昧な「履歴不明」のものになってしまう。

近年は CTD 単体のほか、CTD や各種の測定器を装備した多筒採水器(以下、特に断らないかぎり、合わせて CTD と略記する)が大学や国公設試験研究機関の観測船に装備されるようになった。しかし、CTD と海底との衝突を避けるために、沿岸海域では海底から適当な高さ(著者らの知る範囲では 5 m)でその降下を停止することが多い。そのため、研究課題によっては最も重要な領域であるその高さ以下の海底近傍に関するデータを得ることは難しいのが現状である。

したがって、沿岸海域の海底近傍に着目した海洋環境研究において正確なデータを得るためには、器材を海底のごく近くまで安全に接近させ、海底から正確な高さで測定や採水を行うことのできる方法を早急に確立することが重要である。しかし、その実現を困難にしている原

因のひとつと考えられる音響測深の誤差に関する問題については、海底地形測量の一環としての水深補正法(日本海洋学会, 1986; 気象庁, 1990)が簡単に記載されているものの、水質調査を対象とした日本海洋学会(1990)には全く記載がない。また、沿岸海域の研究においてもこの問題を意識した論文は見当たらないなど、これまでに論じられたことがない。

本稿では「海底からの高さ」が重要な情報となる、海底近傍に着目した沿岸の海洋観測における音響測深の問題を明らかにし、著者らの考えた、十分な観測設備のない船でも簡便に運用できる対応策とその試験結果を紹介したい。

2. 音響測深の問題点

2.1 音響測深機の誤差

言うまでもなく、音響測深機は超音波の発信から受信までの往復時間を測定し、その 1/2 の時間に音速をかけることで水深を測定する原理となっている。船舶や海洋開発に用いる音響測深機は、特別に変更の機能を持たせない限り、音速は一律に 1500 m s^{-1} とすることを義務づけられている(日本規格協会, 2004)。したがって、音響測深機に表示された水深が同じでも、音速が異なっていれば、実際の水深は違っているはずであり、このことが測深誤差を生む大きな要因となっているものと考えられる。

本節では、音速が海水中でどのように変化するかを計算し、音速を一律としたことによって生じる誤差を評価する。

海水中の音速は水温・塩分と圧力によって変化し、Fofonoff and Millard Jr. (1983) によってその算出式が与えられている。この計算式を用いて、圧力の効果を無視した水温 $0-25^{\circ}\text{C}$ 、塩分 25-35 の領域内の任意の水温・塩分に対応する音速 SV を Fig. 1 (A) に示す。なお、音速に対する圧力の効果は、Wilson (1960) の簡易式によれば、圧力の増加 $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ (原著では 1 kgw cm^{-2} 、水深約 10 m) 当たり 0.1605 m s^{-1} 、水深 100 m で 1.6 m s^{-1} の増速が目安である。

実際の沿岸海域で水温・塩分や音速が鉛直方向に一定

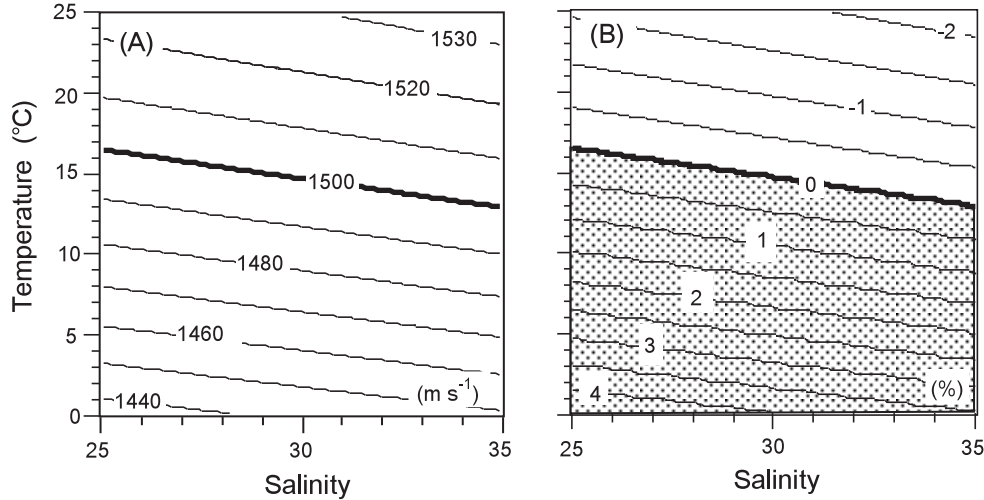


Fig. 1. Diagrams of (A) sound speed in temperature and salinity ranges of 0–2°C and 25–35 respectively, and (B) the ratio (%) of error R_s of an echo sounder in an assumed uniform water column. The shaded area shows that where the depth is overestimated.

となることは少なく、冬の鉛直混合期など限られた期間でしかないが、以下では議論を単純にして音速の違いが測深に与える影響を理解しやすくするために、思考モデルとして音速一定の水柱を考える。

音波の反射時間を T とすると、音速を一律に 1500 m s^{-1} とする音響測深機で測定した水深 D_1 、および水温・塩分に対応した音速 SV による正確な水深 D_1' はそれぞれ、

$$D_1 = 1500 \times T / 2 \quad (1)$$

$$D_1' = SV \times T / 2 \quad (2)$$

であるから、音響測深の誤差の比率 (R_s %) は

$$R_s = 100 \times (D_1 - D_1') / D_1' = 100 \times (1500 - SV) / SV \quad (3)$$

となる。Fig. 1 (A) に対応した誤差の比率 R_s を (B) に示した。

$SV < 1500 \text{ m s}^{-1}$ ($R_s > 0$) の場合、 D_1 すなわち音響測深機による水深は過大評価されていることになり、逆に $SV > 1500 \text{ m s}^{-1}$ ($R_s < 0$) の場合は、過小評価されてい

ることになる。Fig. 1 (B) には $R_s > 0$ 、すなわち音響測深機による水深が過大評価される水温・塩分の領域に陰影をつけた。現場においては、観測の初期段階で CTD 測定を何点か行って水温・塩分の鉛直平均を知ることができれば、この図から測定値に対する誤差の概算値を簡単に見積もることができる。

Fig. 1 (A) によれば、音速 10 m s^{-1} の変化を引き起こす水温の変化量は、5°C以下の領域では2°Cで、水温とともに増加して15°C以上の領域では4°Cとなる。一方、同じ変化を引き起こす塩分の変化量は水温に関わりなくほぼ10であり、音速の変化に対して水温の寄与が圧倒的に大きいことを示している。Fig. 1 (B) に示すように、低温・低塩分になるほど、音響測深機の誤差は大きくなり、0°C近くでは最大4%、すなわち音速が一樣な水深100 mの海域では4 mの過大評価となる。

実際の現場における音速分布の例として、本稿の冒頭に述べた最下層の採水器が着底した記録が残っている1974年3月 (Group of Funka Bay Studies, 1974) と、着底しなかった同年9月 (Group of Funka Bay Studies, 1975) の観測例を Fig. 2 に示す。何れも北海道噴火湾外の臼尻漁港沖 (3月: 42°04.9'N, 141°02.8'E, 9月: 42°03.8'N, 141°03.4'E) でのもので、音響測深機

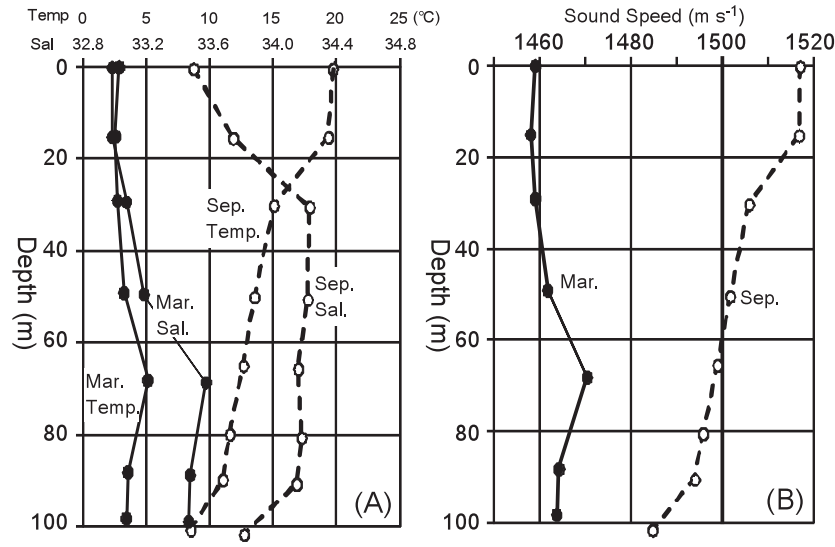


Fig. 2. Vertical profiles of (A) temperature and salinity, and (B) sound speed off Funka Bay, Hokkaido observed on March 19 and September 4, 1974. The sound speed in March was slower than 1500 m s^{-1} in the whole column and the water depth measured by an echo sounder was overestimated. As a result, the deepest Nansen bottle landed at the bottom and sampled muddy water.

による水深は3月99m, 9月102m, またワイヤー長による最深観測層は3月98m, 9月101mであった。音速計算はFofonoff and Millard Jr. (1983)の式を用い, 採水・測温の深度はワイヤー長によるもの, 圧力は簡易的に深度10mにつき1 bar (10^5 Pa)とした。

着底した1974年3月には全層で水温 5°C 以下, 塩分は上層で33.2以下, 下層で33.4以上の2層構造となっているが, 音速は全層で水深測定の基準である 1500 m s^{-1} 以下の1460から 1470 m s^{-1} で, Fig. 1 (B)に当てはめてみると, 実際的水深は測定値より約3% (3m)浅く, そのために最下層の採水器が着底したと考えられる。一方, 同年9月には水温, 塩分ともに増加しているが, 音速は深度60mを境にして上層では基準音速 1500 m s^{-1} 以上, 下層ではそれ以下となって基準からの正負のずれを相殺し, 結果的に音響測深機の誤差を小さくしたことが分かる。

2.2 圧力による深度測定の誤差

水温・塩分などの測定と多層採水に用いるCTDは深度を圧力によって決定するが, 密度ひいてはやはり水温・

塩分に左右される。深度計算の方法は測器メーカーによって異なり, 例えばSea-Bird社ではFofonoff and Millard Jr. (1983)にしたがって水温 0°C 塩分35を仮定し, 海水の比容と圧縮率, 緯度の関数とした重力加速度を計算式に組み込んで圧力をm単位に変換したものを表示する。現場の密度は比容の計算過程を通して変換式に取り込まれている。同社製のCTD, SBE 16 SEACATの一部とSBE 19 SEACAT Profiler, SBE 25 SEALOGGER CTDに使われているPaine社製圧力センサーの深度測定の最大誤差は200m級センサーで0.5m, 1000m級センサーで2.5mである(Sea-Bird Electronics, 1990)。したがって, 沿岸海域において200m級センサーを用いて観測する場合は, Sea-Bird社製CTDの最大誤差は採水器の長さの範囲に収まる大きさになっている。

一方, 例えば国内の調査機関でよく使われているJFEアドバンテック(旧アレック電子)社のCTDは, 海水密度を 1025 kg m^{-3} , 重力加速度を標準重力加速度 9.80665 m s^{-2} の一定値と仮定して圧力を深度に換算し, m単位で表示している。圧力測定の機械的誤差は公称でフルスケールの0.3%以内, 著者らの手許にある同社

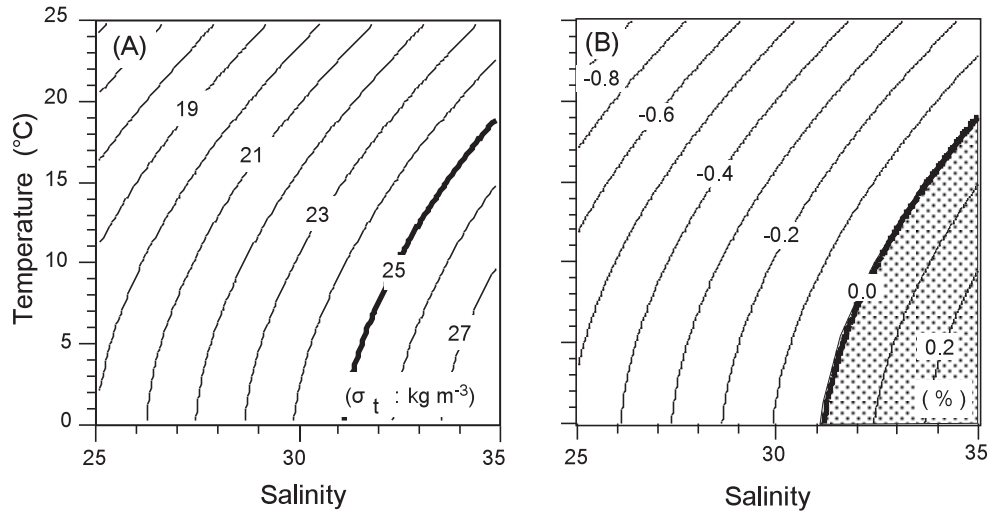


Fig. 3. Diagrams of (A) density in σ_t in the same ranges of Fig. 1, and (B) the ratio (%) of error R_p of the CTD whose depth is determined with constant density and gravity in an assumed uniform water column. The shaded area shows that where the depth is overestimated.

製 CTD の検定書では 5MPa (水深約 500 m) までの圧力範囲で、フルスケールの 0.04% に相当する ± 0.002 MPa (約 0.2 m) である。

しかし、現場の密度や重力加速度は仮定した値と異なっているのが通例であり、この方法も圧力を水深に換算する段階で水柱の水温・塩分分布の影響を受けることは避けられない。

そこで本節では、密度一定を仮定して、圧力によって深度を測定する場合の誤差を見積もり、音響測深の誤差と比較してみたい。

Fig. 1 (A) と同一の水温・塩分領域において、海水の状態方程式 (気象庁, 1990; Fofonoff and Millard Jr., 1983) によって計算した海水の密度 ρ を Fig. 3 (A) に σ_t で示した。

Fig. 1 と同様に、議論を簡単にするために密度一様の水柱を考える。上述の JFE アドバンテック社製 CTD に倣って密度を 1025 kg m^{-3} 、重力加速度を標準重力加速度 9.80665 m s^{-2} と仮定して計算した CTD の測定深度を D_2 、水温・塩分に対応した密度によって計算した深度を D_2' とする。

CTD による圧力の測定値を p 、水温・塩分に対応した海水密度を ρ 、重力加速度を g とすると、

$$p = 1025 \times 9.80665 \times D_2 = \rho g D_2' \quad (4)$$

であるから、密度一定と仮定したことによる深度測定の誤差の比率 R_p (%) は、

$$\begin{aligned} R_p &= 100 \times (D_2 - D_2') / D_2' \\ &= 100 \times (\rho g - 1025 \times 9.80665) / (1025 \times 9.80665) \\ &\approx 100 \times (\rho - 1025) / 1025 \end{aligned} \quad (5)$$

となる。ここで、国土地理院のホームページ (<http://www.gsi.go.jp>) によると国内の重力は沖縄付近での 9.790 m s^{-2} から稚内付近での 9.807 m s^{-2} で、標準重力加速度に対して $\pm 0.2\%$ 以内の差しかないことから、式 (5) では重力加速度 g は標準重力加速度に等しいものとした。Fig. 3 (B) に (A) と対応した R_p を示した。Fig. 1 (B) と同様に、 $R_p > 0$ 、すなわち CTD による深度測定値が過大評価になる領域に陰影をつけてある。

密度が 1025 kg m^{-3} よりも大きい、低温・高塩分の領域では測定深度が過大評価 ($R_p > 0$) となり、密度の小さい、高温・低塩分の領域では過小評価 ($R_p < 0$) となる。前節で述べた音響測深の誤差と比較すると CTD の深度測定誤差は小さく、Fig. 3 に示した水温・塩分の領

域内では圧力測定器の機械的誤差を含めても1%未満、深度100 m付近で1 m以内である。したがって、沿岸海域の観測に用いられているバンドンやニスキンなどの採水器の長さが50 cmから1 mであることから、密度を一定と仮定したCTDについてもSea-Bird社製CTDと同様に、深度測定誤差は水深100 m程度までの海域では無視できる大きさと考えられる。

以上のように、水深100 mの均一な水柱を例として考えると、最大4 mに達する音響測深機による水深測定誤差と比較して、圧力を計測するCTDの深度測定誤差は1 m以内である。このことから、音響測深機の大きな測定誤差が、研究の基本情報であるCTDの海底からの高さを正確に決定することを困難にし、さらには、海底との衝突を避けるためにCTDの降下を海底近傍に到達する前に停止しなければならない大きな要因となっているものと考えられる。

3. 音響測深の問題に対する対策 ー海底直上採水システムの工夫ー

上述の結果を踏まえると、ワイヤー長や圧力によって深度を測定する各種の採水器・測定機器を組み合わせた従来の観測では、海底近傍に関する環境の把握に必要な観測層の海底からの高さを正しく知るためには、まず水深を正しく測定する必要がある。そのためには音響測深と同時に水温・塩分を測定して音速分布を計算し、測深値を補正しなければならないが、この作業に要する時間は調査船の運航に支障を来しかねず、現実的ではない。

CTDの深度測定誤差が小さいことを考慮すると、アーマード・ケーブルを使用した船上記録式システムを用いる場合は、CTD側に海底との距離を直接測定できるような小型の音響測深機（例えばTeledyne Benthos社製PSA-916 Altimeter）を備えれば、たとえ水深が曖昧な状態でも海底から任意の高さまで安全に降下させることができる。しかし、記録内蔵式のCTD単体はさまざまな機種が広く普及しているが、アーマード・ケーブルを使用した船上記録式のCTDシステムは、専用の観測船を所有する一部の研究機関でしか運用できない。沿岸海域では、民間の調査機関や観測船のない研究機関が漁船などを利用して数多くの観測に従事しており、対策は

設備の不十分なこれらの機関でも利用できるものであることが望ましい。

そこで本稿では、音響測深を対象とした対策を考えることはせず、現実的な方法として、フレームに手持ちの記録内蔵式CTD単体と採水器を取り付けた海底直上採水システムを紹介する。このシステムは、測器類を取り付けたフレームを着底するまで降下させることで、音響測深の誤差に関係なく海底直上までの機器測定と直上での採水が可能である。

Fig. 4にその概観を示す。ステンレス鋼管製のフレーム（径27.2 mm）は、一辺1.5 mの正三角形を底面とする高さ2 mの三角錐を成している。その中心に直立する筒は内外2本の筒から成り、外筒（径48.6 mm）にバンドン採水器と手持ちのCTD単体を取り付ける。内筒（径42.7 mm）には下端にトリガーとなるプレートをつけて底面から25 cm外側に飛び出させてあり、着底と同時に5 cmせり上がってバンドン採水器の蓋フック2ヵ所を解放し、バンドン採水器が閉鎖される構造である。本稿で紹介するものは、底面から1 m上が中心となるように6 Lバンドン採水器（長さ50 cm）、また、バンドン採水器の中央から30 cm下、フレームの底面から0.7 m上にセンサー部がくるようにJFEアドバンテック社製CTD、RINKO-Profiler（溶存酸素・濁度・蛍光光度センサー付き：以後、プロファイラーと略記）を取り付けてある。

その構造から明らかなように、この海底直上採水システムは鉛直あるいは鉛直に近い角度で着底した場合のみ着底と同時に作動し、トリガー・プレートが海底に触れないほど傾いた状態で着底して転倒した場合には作動しない。したがって、採取した試料はバンドン採水器の長さを許容すべき誤差範囲として海底から1 mのものであることが保証される。また、採水器は海底から1 m離れていてシステム着底の瞬間に閉鎖されるため、着底による堆積物の巻き上がりの影響は受けないと考えられる。この問題については、海底近傍が粒状物質の沈積や再懸濁、無機化によって元々物質濃度が高い領域と考えられるため、試水の分析による判定は難しく、今後映像撮影などによって確認する必要がある。

谷本・川名（1980）と西田ら（1999）は本稿のシステムと同様に着底を合図に作動するアダプターあるいは採

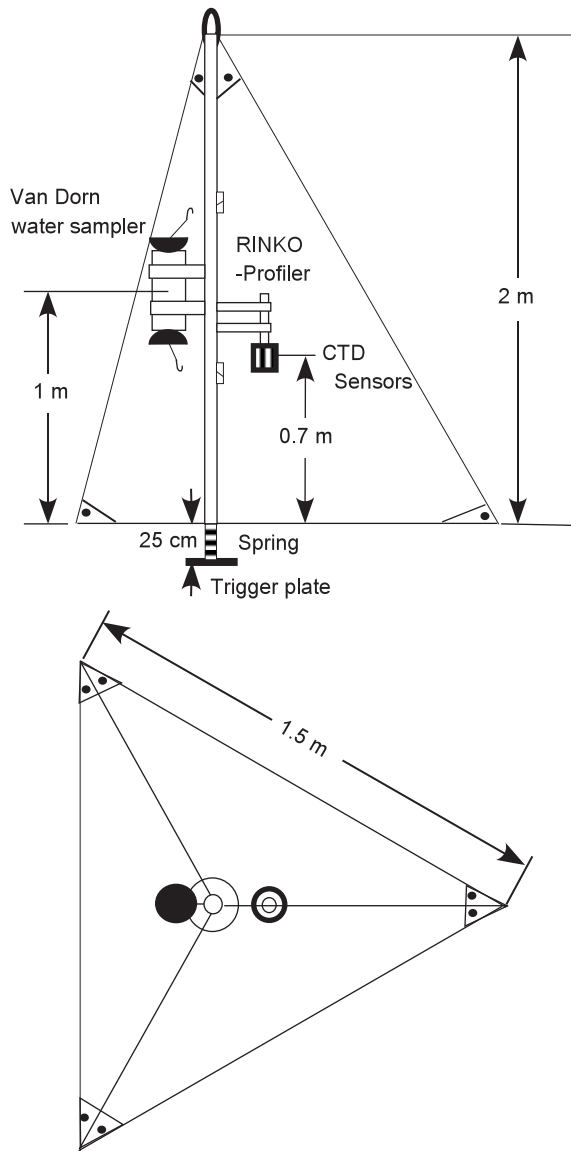


Fig. 4. Schematic presentation of the near-bottom sampling system equipped with a Van Dorn water sampler and the CTD, RINKO-Profiler. This system is designed to be simultaneously triggered by only a landing normal to the bottom.

水器を開発したが、着底時の動作角度を制限する構造がなく、海底からの距離は必ずしも保証されているわけではない。本器は、海底に直角あるいは直角に近い角度で着底した時にのみ作動することでそれを保証する。さらに、採水器・測定器の増設や、撮影装置などの他の観測

機器の設置や移設を可能にするハードポイントや空間に余裕があり、拡張性に富んでいる、という特長を持っている。また、総重量が約 40 kg と比較的軽いため、揚網機さえあれば横幅 2 m 以上の小型の漁船を利用して従事者 2 名で運用できるという簡便性も備えている。したがって、観測専用船を持たない小規模の研究機関や民間調査機関でも利用可能である。

4. 海底直上採水システムの試験運用

本節では、上述の海底直上採水システムによってどのような新しい観測結果が得られるのか、試験的に運用した結果を報告する。

観測は 2010 年 8 月 20 日、北海道大学水産学部練習船うしお丸を用いて北海道南部、噴火湾の中央部、北緯 $42^{\circ}16.5'$ 、東経 $140^{\circ}36.3'$ 、水深 93 m の地点で行った。採水器に装着したプロファイラーの測定間隔は深度 0.1 m 毎、降下速度は観測用ウィンチの最低速 0.7 ms^{-1} に設定した。

Fig. 5 に次の要素の鉛直分布を示す。すなわち、(A) 本システムのプロファイラーによる水温・塩分と (B) 濁度、(C) 溶存酸素濃度と飽和度、(D) うしお丸の CTD (SBE 19plus) および最下層を本システムで採水した試水の溶存態無機窒素、である。

この観測点では、海面から深度 10 m までは水温 22°C 、塩分 30.5 の均質で比較的高温・低塩分の表層水（夏期噴火湾表層水）が占め、その下には 30 m まで強い水温・塩分躍層が形成されている。躍層の下は深度 70 m まで水温 5°C 、塩分 33~33.3 の沿岸親潮水、さらにその下を津軽暖流水が変質した冬期噴火湾水と沿岸親潮の混合水である塩分 33.3 以上の比較的高塩分の噴火湾底層水が占める多層構造になっている（大谷，1985）。

このような海洋構造のもと、濁度 (Fig. 5 (B)) で示される粒状物質濃度は、表層水下部で局所的に高くなっていることを除けば、表層から深度 70 m までは比較的清澄であるが、底層水中で増大して、海底近傍で粒状物質の沈積や再懸濁が生じていることを示している。溶存酸素の濃度と飽和度 (Fig. 5 (C)) は躍層中の深度 20 m 付近で最大値となった後、徐々に減少する。70 m 以深の底層水中では急速に低下し、海底近傍でほぼ均一になっ

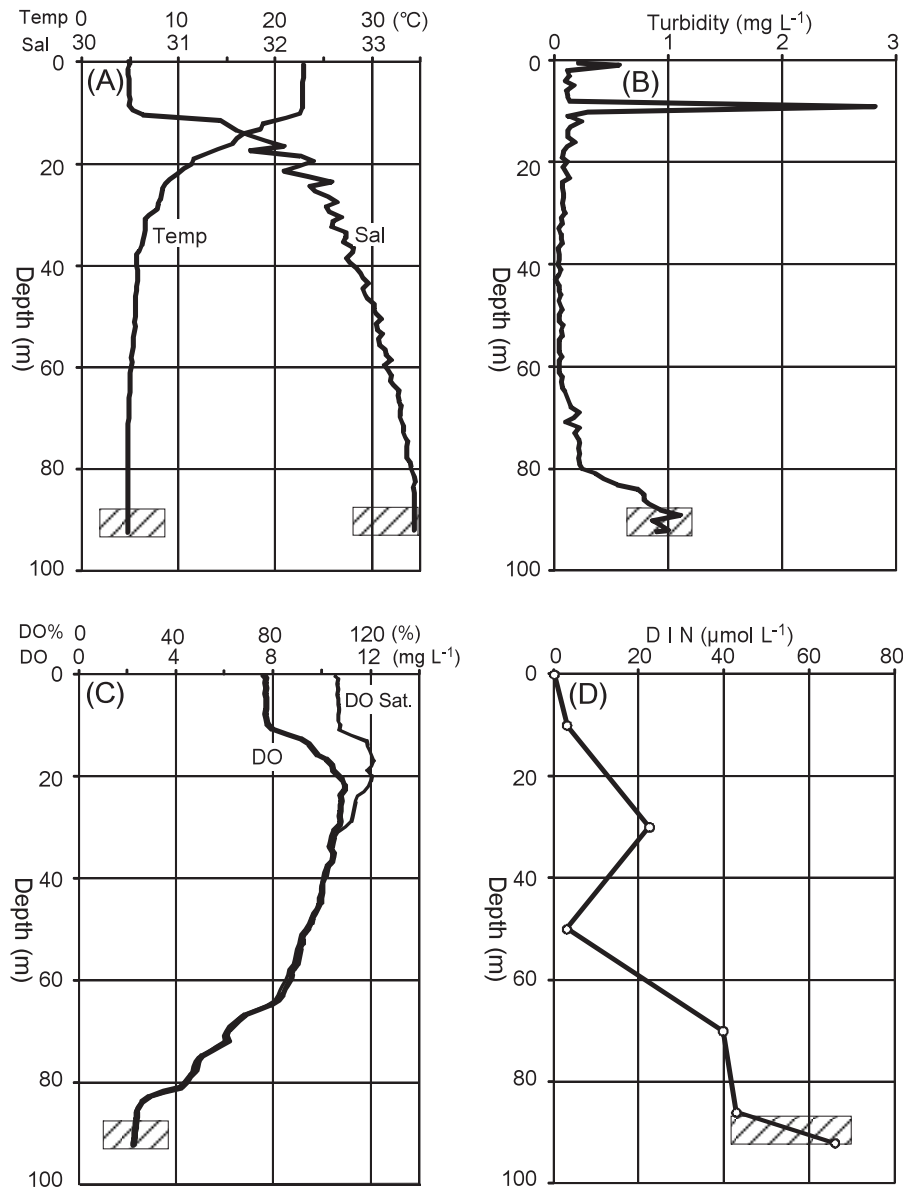


Fig. 5. Vertical profiles observed experimentally in 2010 at a station in central Funka Bay, Japan. Those are (A) temperature and salinity, (B) turbidity, (C) dissolved oxygen concentration and degree of its saturation (%), observed by the near-bottom sampling system described in Fig. 4 and (D) dissolved inorganic nitrogen sampled with SBE 19plus system and this sampling system. The hatched zones are those within 5 m above the bottom, and cannot be observed if the descent of a sampling system is interrupted at 5 m above the bottom to avoid a collision to the bottom.

て 2 mg/L^{-1} 、飽和度 20% の最低値となる。また、溶存態無機窒素 (DIN; Fig. 5 (D)) は底層水上部の深度 70 m から増加し、海底上の僅か 5 m の間で $20 \mu\text{mol/L}^{-1}$ もの増加を示す。海底近傍におけるこのような急勾

配の変化は、本稿で提案した採水システムを着底させる方法によって初めて測定できるものである。

Fig. 5 の各図には海底から 5 m の範囲に斜線を付けてあるが、CTD の安全を重視した従来の降下法にした

がってCTDの降下を例えば高さ5mで停止した時は、この範囲のデータや試料が得られない。当然のことながら各要素の鉛直分布は異なったものとなり、海底近傍で生じている様々な現象の理解も、この図から得られるものとは違ってくものと考えなければならない。

5. 今後の課題

曖昧な測深データや必要な観測機材の開発の遅れのため、海底近傍の状態に関する我々の知見は非常に乏しく、安価で簡便に運用できる観測機材が必要とされている。本稿で紹介した採水システムの中央に直立する二重筒には、後で様々な機器を装着できるようにレールが取り付けられているので、今後はそれを利用して容量1L程度の小型採水器5~6個を装着すること、さらに三角錐の斜行フレームにビデオカメラなどの撮影機材を取り付けて、機器の作動状況や海底の様子を撮影することを検討する予定である。

謝 辞

本稿を作成するに当たり、(独法)産業技術総合研究所中国センター谷本照己博士からは文献をはじめとする貴重な情報をいただき、北海道立栽培漁業総合センター元場長 故西浜雄二博士は海底直上採水システム試作の参考となる「逆さバンドン」の実物を見せて下さいました。また、北海道大学水産学部練習船うしお丸の目黒敏美元船長には、陸上試験のみで、実海面では成否不明の採水器の試験運用を許可していただきました。

最後になりましたが、お二人の査読者からは手厳しくも有益なコメントを頂きました。

皆様に厚くお礼申し上げます。

References

Fofonoff, N.P. and Millard Jr., R.C. (1983) : Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Unesco technical papers in marine science 44, UNESCO, Paris.

Group of Funka Bay Studies (1974) : Data Report of Funka Bay Studies, No.1, edited by K. Ohtani. Faculty of fisheries, Hokkaido University, Hakodate.

Group of Funka Bay Studies (1975) : Data Report of Funka Bay Studies, No.3, edited by K. Ohtani. Faculty of fisheries, Hokkaido University, Hakodate.

気象庁 (編) (1990) : 海洋観測指針. 日本気象協会, 東京, 428 pp.

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, 東京, 266 pp.

日本海洋学会 (編) (1990) : 沿岸環境調査マニュアル II (水質・微生物篇), 恒星社厚生閣, 東京, 386 pp.

日本規格協会 (2004) : JIS F 9401 船舶及び海洋技術—船用音響測深装置, (財)日本規格協会, 東京, 18 pp.

西田芳則・堀井貴司・西浜雄二 (1999) : 噴火湾底層における貧酸素水塊の形成と消滅. 北海道立水産試験場研究報告, **54**, 15-23.

大谷清隆 (1985) : II 物理, 第3章 噴火湾, 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, 東京, pp. 1106.

Sea-Bird Electronics, Inc. (1990) : Minimizing Strain Gauge Pressure Sensor Errors, APPLICATION NOTE 27, Sea-Bird Electronics, Inc., Bellevue, 3 pp.

谷本照己・川名吉一郎 (1980) : 底層用採水器アダプター及び底層用多層採水器の開発. 中国工業技術試験所報告, **9**, 39-45.

Wilson, W. D. (1960) : Speed of Sound in Sea Water as a Function of Temperature, Pressure and Salinity. Journal of the Acoustical Society of America, **32**, 641.

A problem of echo sounding in the observations focusing on a vicinity of a coastal bottom and a countermeasure to it

Kazuo Kido** and Shigeru Montani†

Abstract

The echo sounding is the normal technique to measure the depth of a studying site. But the sound speed in seawater for this technique is legally fixed to be 1500 m s^{-1} , in spite of that it varies depending on water temperature, salinity and pressure. Accordingly, the depth is not always measured correctly by an echo sounder. This uncertainty makes it difficult to correctly observe the phenomena near the bottom in the coastal waters, where *the height of sampling layer above the bottom* is a very important factor.

In this paper, the authors estimated and compared the errors of the echo sounder and the CTD including the multi-bottle water sampler, whose depth is measured with pressure, in temperature and salinity ranges of $0-25^{\circ}\text{C}$ and $25-35$ respectively.

The resultant diagrams demonstrate that the maximum error of the echo sounder reaches to 4% in relatively low temperature. On the other hand, the maximum error of the CTD is smaller than 1%. Imaging a uniform water column of 100 m depth for a model of thought, the error of the echo sounder corresponds to the height of 4 m, and that of CTD, to the height within 1 m, nearly equal to the length of a water sampler. The relatively large error of the echo sounder makes it quite difficult to observe, with an echo sounder, any phenomena at a correct height above the bottom.

As a countermeasure to this difficulty, we proposed a near-bottom sampling system which makes it possible to measure temperature, salinity and other factors and to take the water sample at a correct height above the bottom. This system can be handled by two persons and a line hauler on board of a fishing boat without special equipments for the oceanographic observation.

A trial observation conducted in Funka Bay, Japan demonstrated conspicuous increments of turbidity and dissolved inorganic nitrogen, and decrement of dissolved oxygen near the bottom.

Key words: Echo sounding, Variation of sound speed, Sampling near the bottom, Near-bottom sampling system

(Corresponding author's e-mail address: kido-kazuo@hro.or.jp)

(Received 9 October 2012; accepted 14 June 2013)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2013)

† Faculty of Fisheries sciences and Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, N10 W6, Sapporo, Hokkaido 060-0810, Japan

** Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido Research Organization, 3-1 Chikko, Otaru, Hokkaido 047-0008, Japan