

技術報告

簡易型 XCTD 観測装置の 開発と海洋モニタリングにおける 今後の活用法

清水勇吾^{*1,*5}・渡慶次力^{*2,*6}・久野正博^{*3}・
瀬藤 聡^{*1}・亀田卓彦^{*1}・伊藤大樹^{*1}・谷澤一宏^{*4}

Development of portable device with simple handling as an expendable oceanic
temperature-salinity measurement probe XCTD,
and its usage for ocean monitoring around Japan

Yugo SHIMIZU, Tsutomu TOKESHI, Masahiro KUNO, Takashi SETOU,
Takahiko KAMEDA, Daiki ITO and Kazuhiro TANIZAWA

Seawater temperature and salinity are fundamental for hydrographic observations, and they are determined mainly by CTD (conductivity-temperature-depth sensor) systems on research vessels. Ocean currents, source water origins, and oceanic conditions of nurseries and fishing grounds are assumed based on spatial distributions of temperature and salinity. Expendable CTDs (XCTDs) can record within much shorter times in bad weather conditions, and we developed a new all-in-one XCTD converter, which is portable and works by simple operation with an independent battery, for non-specialists to easily observe temperature and salinity on general boats. In this paper, we introduce the concept and developing history of this XCTD converter, and then report accuracy comparing XCTD and CTD data, for the purpose of reinforcing ocean observation systems and streamlining fishing efforts in Japan's coastal area by utilizing XCTD..

キーワード：XCTD observation, XCTD converter, XCTD ocean monitoring
2020年4月13日受付 2021年5月28日受理

魚類等の産卵，発生初期の生残りや成育，漁場や漁期は水温や海流に大きく影響を受けるため，水温と塩分の観測は水産研究上，非常に重要である。また海水の密度は水温と塩分によってほぼ決定され，密度の異なる海水が風などにより動かされて接すると浮力や圧力の差が生じ，運動を始めた海水に地球自転による転向力が作用し

て海流が生成される一因となる。計算機の発達に伴い，仮想的な海洋を計算機で再現し（数値モデル），水温や塩分の観測値を数値モデルに入力することにより，観測空白域の水温，塩分，海流の推定（再現）と予測が可能となってきた。数値モデルの推定精度を上げるためには，観測値をなるべく多く，時空間的に偏りなく入力するこ

*1 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所
〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦 2-12-4

Fisheries Resources Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, National Research and Development Agency
2-12-4 Fukuura, Kanazawa, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan
yugo@affrc.go.jp

*2 宮崎県水産試験場 *3 三重県水産研究所 *4 株式会社鶴見精機

*5 現 水産庁増殖推進部研究指導課 *6 現 福井県立大学海洋生物資源学部

とが必要である。

国立研究開発法人水産研究・教育機構（以下水産研究・教育機構）では漁海況予報を作成し広報しているが（水産研究・教育機構 2020），漁場や漁期の予測は，数値モデルである海況予測システムFRA-ROMS（Kuroda *et al.* 2017）による水温，塩分，海流などの再現値と予測値を利用することが多い。また，レジーム・シフトと呼ばれる数十年スケールの大気－海洋－海洋生態系変動によって様々な水産資源も変化するため（川崎ら 2007），水温と塩分の長期的観測はレジーム・シフト監視のためにも重要である。

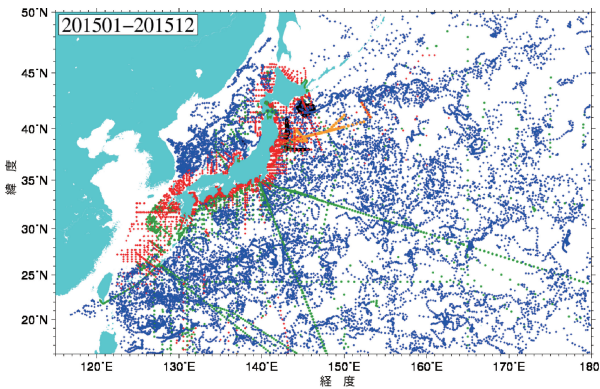


図1. 水産研究・教育機構 海況予測システムFRA-ROMS に2015年に入力された観測データの分布
赤:水研水試調査船, 青:アルゴフロート, 緑:その他調査船, 橙: U-CTD (Underway CTD), 黒: 水研グライダー

1980年代以降，海面水温は人工衛星搭載のセンサーで遠隔的に広く把握できるようになったが，海洋内部の水温や塩分は，主にCTDと呼ばれる電気伝導度，温度，深度を観測する装置を海中に降ろして直接的に観測される。外洋域の水温と塩分は，Argo（アルゴ）計画で投入されているCTD搭載の中層フロート（Argoフロート）によって広く観測されている一方（Riser *et al.* 2016），漁業活動が盛んな我が国周辺海域では，都道府県や水産研究・教育機構の調査船で主に観測がなされている（図1）。都道府県の水産試験研究機関調査船による水温・塩分観測は，およそ月に1度程度で，各月の中旬になされることが多く，中～下旬で水温，塩分データが少ない状態となる（図2，図3）。

したがって，水温・塩分・海流などの再現値や予測値の精度向上のためには，観測空白域や各月中～下旬にも海洋観測を行うことが望ましい。しかし，近年の調査船の減船，観測従事者の減少，燃油価格の値上がりなどによって，観測体制を強化するどころか維持するのも厳しい状況にある（那須ら 2011）。水産研究・教育機構では海洋観測ロボットである水中グライダーも活用しているが（清水ら 2017），高額機器であるだけでなく高度な操作技術も必要で，我が国周辺の調査船観測を十分補強するほどには至っておらず，観測を充実させるための別な手段を考える必要がある。操作が簡易で持ち運び可能な海洋観測装置を開発し，漁業者など非専門家による海洋観測実施や都道府県調査船の観測設備の故障・荒天時の欠測に備える体制の構築が望ましい。

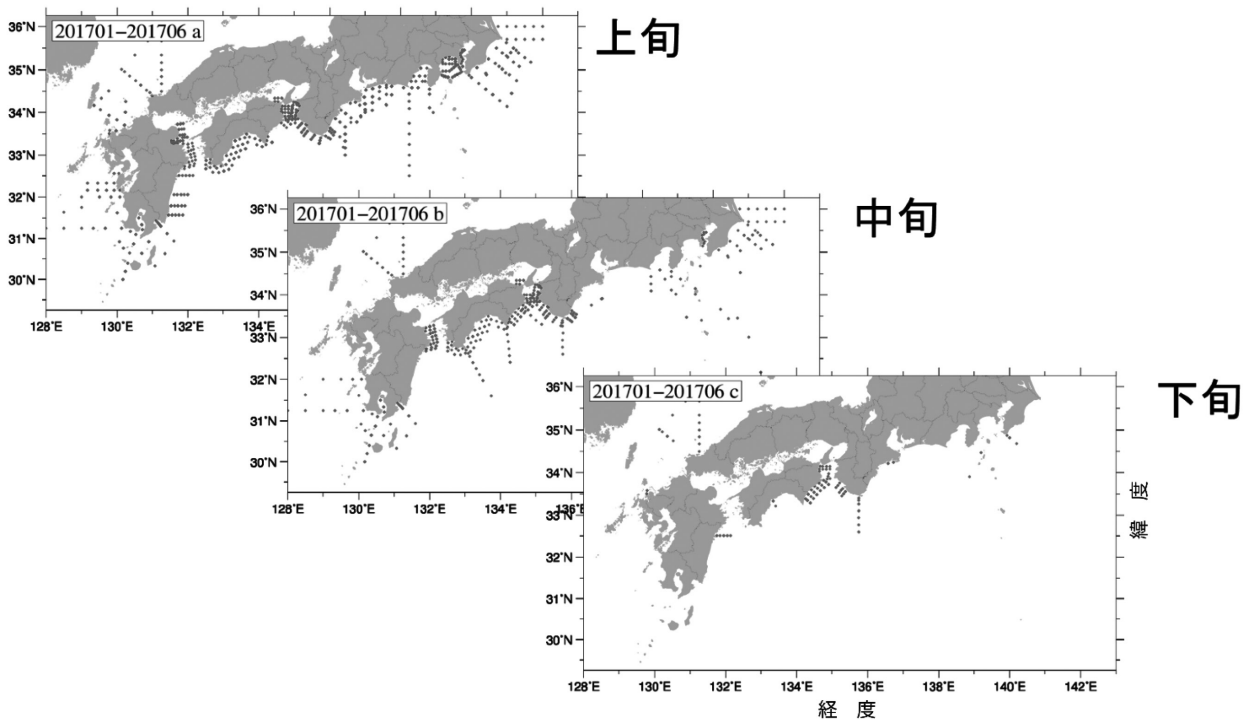


図2. FRA-ROMS入力の旬ごと水産試験場調査点（2017年1～6月）

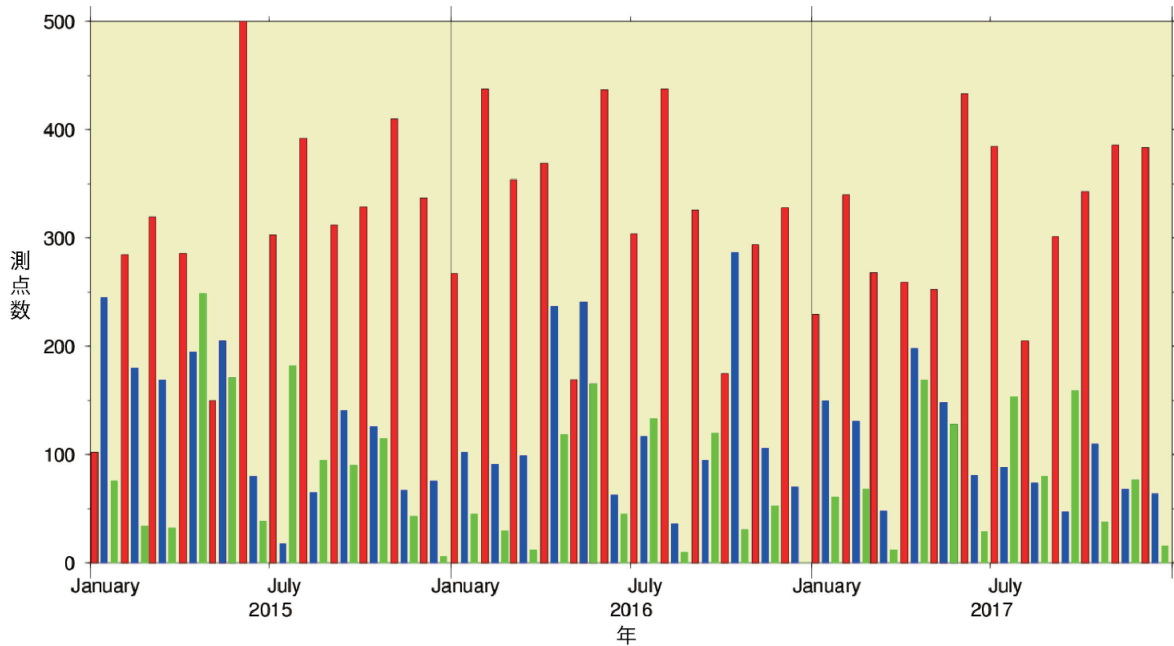


図3. 中央ブロック（千葉県から鹿児島県までの日本南岸都県）等水産試験研究機関における2017年の各月ごとのFRA-ROMS入力調査点数
赤：上旬，青：中旬，緑：下旬

そこで、(株)鶴見精機製XCTD (eXpendable CTD)の活用を検討した。XCTD観測の方法、測器の特性などは木津(2018)によってまとめられているが、XCTDセンサー部(プローブ)を海に投下し自由落下させるため、XCTD観測では5分ほどで1,000m深近くまで測定でき、また通常のCTD観測が実施不可能な荒天時でも実施できる利点がある。そのため、水産研究・教育機構の調査船では荒天時や時間短縮が必要な際にXCTD観測が実施されてきた。これまでのXCTD観測では、海中に投下されるプローブを、ランチャーとコンバーターを介して導線を通じパソコンに接続し、専用ソフトを用いて操作する必要があったが、筆者らは、調査用のスペースや電源を持たない船に持ち運び可能にして、コンバーターやパソコンを一つにまとめ、専門家ではない観測者が簡単に水温・塩分観測を行えるように操作を極力簡易にした観測装置を開発した(図4)。今後の利活用と定線観測の補強に向けて、本稿ではその開発の内容や装置および観測結果の実証結果、普及による将来の展望を述べる。

なお以下に記述する通り、試作機の現場試験等を通じ

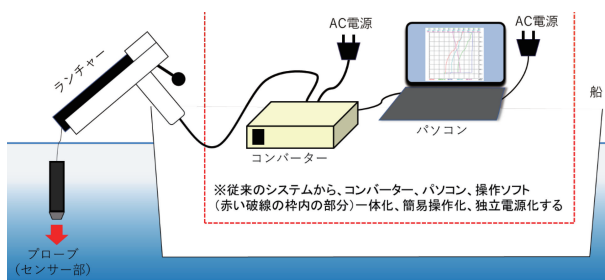


図4. 簡易型XCTD観測システムの概念図

て明らかになったいくつかの細かい問題点の改良が施され、可搬式XBT/XCTD観測装置 MK-150Pという名称で市販されている。購入を検討する場合には(株)鶴見精機のホームページより商品情報を参照できる(鶴見精機2020)。

簡易型XCTD観測装置の開発

仕様 簡易型XCTD観測装置の開発目的は、簡単にXCTD観測ができるシステムを自由に持ち運び、荒天やCTD故障などによる定線観測の欠測をできるだけ減らすほか、調査設備を有さない漁船などから、海洋観測を専門としない漁業者などにも手軽にXCTD観測を行えるようにして、我が国周辺の海洋観測を充実させることである。観測データを現場で簡単にメール送信できるならば、観測者と観測依頼者双方にとってメリットとなるため、以下のような仕様とした。

- (1) 専門家ではない観測者が、調査船ではない船上からXCTDプローブを投入できること。
- (2) GPSシステムを使ってプローブを投入した時の緯度経度を記録できること。
- (3) 電源が利用できない環境においても、充電電池や乾電池で複数回観測できること。
- (4) 防水性があり、船の曝露部でも使用できること。
- (5) 携帯電話回線等を用いて、陸に近いときに1mごとの観測データを指定したメールアドレスに送信する機能を有すること。
- (6) プローブを投入するランチャーを船体に固定できるクリップをオプションで用意すること。



写真1. 2018年7月に製作された2種類の簡易型XCTD観測装置試作機
 上が簡易操作型, 下がタブレットPC型

上記を満たすように2018年7月に2種類（「簡易操作型」, 「タブレットPC型」）のXCTD観測装置の試作機を製作した（写真1）。さらに打ち合わせの結果, データの自動保存を行い, 観測直後にタブレットやスマートフォンで観測結果を表示・確認できれば, 漁業者にとって大きなメリットになるという意見があり, この機能も追加した。

みやざき丸での試作機試験 「簡易操作型」, 「タブレットPC型」の2種類のXCTD観測装置を試作し, 2018年8月2日～3日に日向灘の宮崎県沖合観測定線上（図5a）で宮崎県水産試験場調査船みやざき丸から最初の実地試験を行った（宮崎県水産試験場2019）。新たに製作した船体固定用クリップを用いて船尾の右舷側にランチャーを設置し（写真2）, 1,000m深まで観測可能なXCTD-1プローブを用いて観測を行なった。全10地点のうち, 9地点は「簡易操作型」, 残り1地点(St.7)では「タブレットPC型」で実施した。その結果, 試験を実施した観測者からは, 「簡易操作型」は数回の操作で観測できるので漁業者でも十分使用できる印象を受けたが, 「タブレットPC型」は画面も小さく操作ボタンが多いため, 漁業者が使用するには難しいという意見があった。どちらのタイプでも, GPSからの位置情報の受信は数分程度で終了し, 電池（単三型充電電池10本; 商品版では8本に

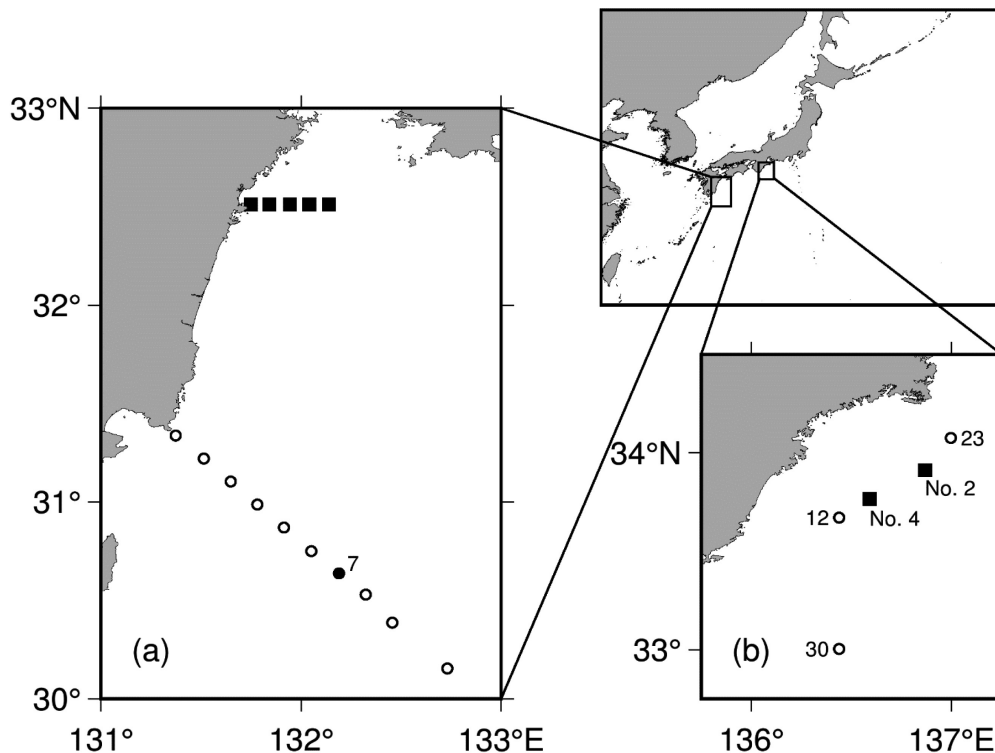


図5. 測点位置
 (a) 宮崎県水産試験場(沖合観測定線○, 土々呂ライン■), (b) 三重県水産研究所(沿岸定線○と浮魚礁■).
 図中の数字は測点番号を表す



写真2. みやざき丸右舷後尾にクリップで固定されたランチャーから投下されるXCTDプローブ (2018年8月)

変更)は全観測期間中、再充電の必要はなかった。1,000m深までの観測時間は本機では約5分で終わることができた(通常のCTD観測では約40~50分かかる)。また、定線観測の通常調査ではCTD観測に加えてプランクトン採集や採水も行うが、CTDの代わりにXCTDで観測を行うと、CTD観測専用のワイヤーも利用して、2つのワイヤーでプランクトンネット採集と採水を行うことができ、1地点の全体作業の時間を従来の50分から15分へ、35分の大幅短縮ができた。したがって、通常調査が10点設置されている観測定線においては、合計350分、すなわち約6時間の短縮が期待できる。このような時間短縮効果と船上作業工程の効率化によって、作業疲労の低減を実感することもできた。したがって、都道府県定線観測へ当機を導入することができれば、効率的な調査に加えて、作業員の疲労低減にも有効と考えられた。

宮崎県漁業者による試験 みやざき丸での試験の結果、「タブレットPC型」よりも「簡易操作型」のほうが漁業者に使いやすいと判断されたため、「簡易操作型」試作機を簡易型XCTD観測装置の原型機として利用を続けた(以降、簡易型XCTD観測装置試作機と呼ぶ)。これを用いて、2019年1月10日に沿岸定線調査の土々呂ライン(図5a)の5定点(宮崎県水産試験場2019)において、宮崎県の曳縄漁業者(曳縄船5t未満)による試験観測を実施した(写真3)。ランチャーは漁船に据え付ける予定であったが、取付け金具が漁船の形状に合わなかったため、今回は、ランチャーを手で支えてプローブを投入した。コンバーターの画面で観測のセットアップや、プローブのランチャーへのセットを行った後に、プローブの投入から観測終了までの一連の作業を漁業者が行なった結果、全ての作業行程を簡単に実施することができた。この理由として、漁業者にとって最も難しいと考えられるコンバーターの取扱いが簡単であった事が挙げられる。当機のコンバーターは、液晶画面の文字が大きく見やすい上、ボタン操作がしやすく、さらに操作行程も、電源投入、測定を選択、プローブの選択、観測後に電源を切る、の4つのボタン選択作業をするだけなので、漁業者でも簡単に観測を実施できたと考えられる。今回XCTD観測を行った漁業者は、これまでメモリー式CTDによる水温・塩分観測を実施してきたが(渡慶次2018)、メモリー式CTD観測と異なり、XCTD観測はセンサーの回収の必要がないため作業時間の短縮が図れ、センサーの投入・回収が難しい流れが速い時でも観測できるなど、大きな利点があった。帰港後に、コンバーター画面上で観測データの送信をしたところ、簡単に作業を行う事ができた。一方、船が揺れる洋上にて簡易型XCTD観測装置試作機にFlash-Air(後述)で接続したスマートフォンを用いて観測結果を閲覧しようとしたが、小さい画面では操作しにくい上、文字も見えづかったことから、洋上での別端末による観測結果の閲覧には、



観測に用いた船



観測セットアップ



プローブをランチャーにセット



プローブの投入



プローブを投入中

写真3. 宮崎県漁船での簡易型XCTD観測装置による観測試験風景

画面の大きなタブレットの利用が適当と考えられた。

定線観測への普及に向けて

三重県水産研究所におけるXCTD観測の定線観測への導入 三重県水産研究所調査船あさまでは、毎月1回の熊野灘沿岸定線観測（図5b）において、簡易型XCTD観測装置試作機を用いて観測を実施した。2019年1月から観測を開始し、熊野灘沿岸定線の最南端に位置するStn.30（33°00′N-136°26′E）において、1,850m深まで観測可能なXCTD-4プローブを用いて、深層の水温・塩分の状況を把握した。この観測により、黒潮大蛇行期に関東～東海沖に特徴的に出現する1,000m深で3°C以下の冷水（Usui *et al.* 2011）が熊野灘沖に出現していることを明らかにした。これらの結果は迅速にとりまとめ、三重県水産研究所のホームページでの広報に用いた（三重県水産研究所 2020）。

また、調査船あさまのCTDウインチが故障していた2019年1月～4月は、浅海域はメモリー式CTDによる観測を実施し、500m以深の観測においては1,000m深まで観測可能なXCTD-1プローブを用いた観測を実施した。従来であれば、CTDウインチが故障した場合、深層の観測は断念せざるを得なかったが、XCTD観測を行うことで毎月の観測を継続することができた。また、荒天時で通常のCTD観測が困難な時でも、XCTD観測を行うことで欠測を減らすことが期待される。

CTD・XCTD同時観測の比較による精度検証 定線観測においてXCTD観測が従来のCTD観測の代替となるかを検証するため、三重県水産研究所の沿岸定線観測定地点および浮魚礁（図5b）において、CTDとXCTDの同時観測を行い、両者の結果を比較した（表1）。CTDは2019年1月から4月まではSBE19plus、2019年5月から2020年1月まではSBE9plusを使用した。XCTD観測には簡易型XCTD観測装置試作機とXCTD-4プローブを用い、プローブの落下式は同機に組み込まれているものを使った。各測点では、まずCTDによる観測を行い、続いてXCTDプローブを投下した。XCTD-4は1,850mまで観測可能であるが、三重県水産研究所によるCTD観測はおおむね300mまでに限られているため、ここでは300m以浅に限って両者の比較を行った。なお、CTD観測が300mに到達していない2019年3月5日の測点12では292m以浅のデータを用いた。

同時観測結果の例を図6に示す。CTDとXCTDの水温・塩分プロファイルと比較すると、両者が捉えた構造は表層の塩分を除いて、よく一致していた。水温・塩分ともに鉛直勾配が小さい時にはXCTDとCTDの値の違いはなく、鉛直勾配が大きくなるとその違いは大きくなった。このことから、XCTDとCTDの値の違いは両者の深度の違いに起因すると考えられた。また、今回行った23回

表1. 三重県水産研究所沿岸定線で行ったCTDとXCTDの同時観測の詳細

観測日	測点	CTD	水深 (m)	観測深度 (m)		CTD/ XCTDの 開始時刻差
				CTD	XCTD	
2019/01/22	23	SBE19+	1374	401	1371*1	11分11秒
2019/01/23	30	SBE19+	>2000	354	2000	5分13秒
2019/01/23	12	SBE19+	2065	326	1851*1	4分12秒
2019/02/12	12	SBE19+	2063	356	1702*1	3分54秒
2019/02/12	30	SBE19+	>2000	355	2000	3分41秒
2019/02/13	23	SBE19+	1370	329	1421*1	10分20秒
2019/02/22	No.4	SBE19+	2041	415	2000	1分22秒
2019/02/22	No.2	SBE19+	1183	451	1182*1	3分54秒
2019/03/05	12	SBE19+	2063	292	2000	2分08秒
2019/03/05	30	SBE19+	>2000	324	2000	2分48秒
2019/03/06	23	SBE19+	1371	313	1351*1	2分12秒
2019/04/12	12	SBE19+	2070	355	2000	12分32秒
2019/04/12	30	SBE19+	>2000	323	2000	5分08秒
2019/04/13	23	SBE19+	1383	302	1393*1	8分25秒
2019/05/25	30	SBE9+	>2000	301	2000	3分09秒
2019/06/04	30	SBE9+	>2000	301	2000	3分55秒
2019/07/08	30	SBE9+	>2000	301	2000	3分17秒
2019/08/20	30	SBE9+	>2000	302	2000	5分01秒
2019/09/02	30	SBE9+	>2000	301	1338*2	4分59秒
2019/11/20	30	SBE9+	>2000	303	2000	6分38秒
2019/12/05	30	SBE9+	>2000	302	2000	6分59秒
2020/01/16	No.4	SBE9+	2040	2001	2000	4分51秒
2020/01/21	30	SBE9+	>2000	303	2000	5分20秒

*1 着底して終了

*2 観測途中エラーが発生して終了

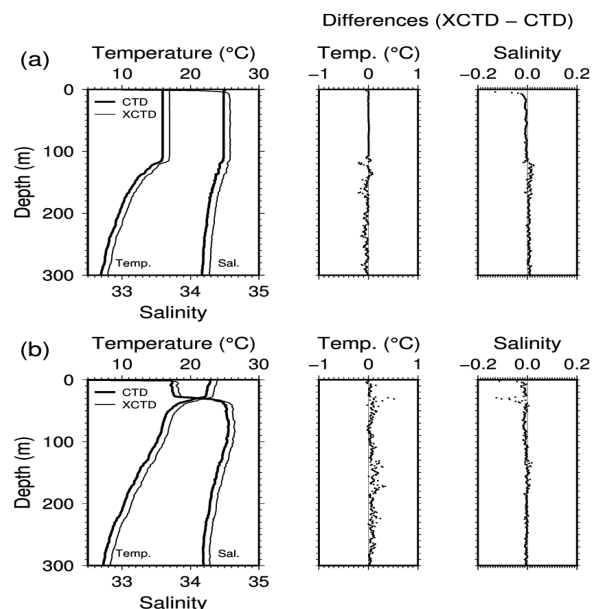


図6. XCTDとCTDの水温・塩分鉛直プロファイルの比較
左：両プロファイルの比較。見やすくするため、CTDの水温および塩分はそれぞれ1°C、0.1を引いてある。中：XCTD水温とCTD水温の差。右：XCTD塩分とCTD塩分の差。(a) 2019年1月23日測点30、(b) 2019年7月8日測点30

の比較実験の全てで表層のXCTDの塩分がCTDよりも低かった。XCTDが低塩分の値を示す現象はほとんどの測点で深度10mまでに解消したが、深度50m付近まで及ぶこともあった。この現象はXCTD-1にも見られ、伝導度セルから気泡が追い出されるまでに時間がかかることが原因であるとされており (Mizuno and Watanabe 1998), XCTD-4でも同様であると思われる。

XCTDとCTDの水温・塩分の平均平方二乗誤差(RMSE)を表2に示す。水温のRMSEは0.039~0.335°Cであり、メーカーが公表している水温の精度である $\pm 0.02^\circ\text{C}$ よりも大きかった。ただし、XCTDの深度にも誤差が含まれており、深度の精度は $\pm 5\text{m}$ もしくは深度の $\pm 2\%$ の大きい方とされている。水温の鉛直勾配が大きいとXCTDとCTDの深度の違いが水温の違いとなる(図6)。そこで、深度方向の影響を除去するため、水温鉛直勾配とメーカーによる最大の深度の誤差(5mもしくは深度の2%)の積が $\pm 0.02^\circ\text{C}$ の範囲に収まる層のみでRMSEを計算した。その結果、1例(2019年1月22日の測点23)を除いてRMSEは0.02より小さくなり(表2), XCTDとCTDの水温の違いはメーカーの精度範囲に収まると判断された。

一方、メーカーは塩分の精度を公表しておらず、代わりに電気伝導度の精度を $\pm 0.03\text{mScm}^{-1}$ としている。Mizuno and Watanabe (1998)はこの値を用いて、水温5~29°C、塩分34~36、密度0~1,000dbの範囲で数値的に計算し、塩分精度を0.04と推定している。塩分のRMSEは0.033~0.192であり、1例(2019年12月5日の測点30)を除いてMizuno and Watanabe (1998)が推定した塩分精度よりも大きかった。ただし、先に述べたようにXCTDの表層塩分はCTDに比べて低いことから、10m以深でRMSEを計算したところ2例を除いて、0.04以下に収まった(表2)。

以上のことから、水温、塩分の鉛直勾配が急な場所での観測ではXCTDの測定精度が悪くなることが明らかとなった。Uchida *et al.* (2011)は、XCTDとCTDの観測値の比較から、水温センサーに比べ電気伝導度センサーの応答が速く、また、電気伝導度から計算される塩分の値は水温に大きく依存することから、水温に大きな変化があると塩分計算値の誤差要因となることを示した。その上で、生データから、表層データおよびノイズ状のデータをローパスフィルター処理で除去したのち、水温・電気伝導度の同時測定値の組み合わせを用いるのではなく、水温センサーと電気伝導度センサーの応答の不一致を解消するように電気伝導度値を少し時間的に遅らせた測定結果の組み合わせを用いることにより、塩分計算の精度が高まることを示している。水温と電気伝導度の生データは本装置でも自動保存されているため、観測終了後にUchida *et al.* (2011)の方法で処理すれば精度を高めることが可能ではあるが、1次処理値および現場表示値の精度を高めるには、収録・処理ソフトの改修が必要である。

表2. CTD/XCTD同時観測における水温・塩分の平均平方二乗誤差(RMSE)

観測日	測点	水温	水温 (鉛直一様層*1)	塩分	塩分 (10m以深)
2019/01/22	23	0.112	0.036	0.080	0.008
2019/01/23	30	0.047	0.005	0.098	0.008
2019/01/23	12	0.129	0.011	0.070	0.009
2019/02/12	12	0.158	0.013	0.097	0.008
2019/02/12	30	0.057	N/A *2	0.084	0.009
2019/02/13	23	0.119	0.019	0.160	0.012
2019/02/22	No.4	0.058	0.004	0.145	0.008
2019/02/22	No.2	0.042	N/A *2	0.079	0.007
2019/03/05	12	0.091	0.006	0.081	0.008
2019/03/05	30	0.121	0.005	0.192	0.011
2019/03/06	23	0.095	0.007	0.146	0.008
2019/04/12	12	0.082	0.010	0.090	0.014
2019/04/12	30	0.088	N/A *2	0.129	0.011
2019/04/13	23	0.060	0.005	0.072	0.009
2019/05/25	30	0.051	N/A *2	0.147	0.004
2019/06/04	30	0.043	N/A *2	0.176	0.006
2019/07/08	30	0.103	N/A *2	0.091	0.015
2019/08/20	30	0.044	N/A *2	0.103	0.020
2019/09/02	30	0.335	N/A *2	0.173	0.067
2019/11/20	30	0.291	0.011	0.127	0.050
2019/12/05	30	0.130	0.007	0.033	0.018
2020/01/16	No.4	0.039	0.004	0.072	0.006
2020/01/21	30	0.087	0.012	0.071	0.006

*1 「水温の鉛直勾配×XCTDの深度精度<XCTDの水温精度」で定義

*2 条件を満たす層が少ない(全体の10%以下)ので除外

簡易型XCTD観測装置の使用上の注意点

試作機で見つかった細かい改良点のいくつかは鶴見精機が市販するMK-150Pで修正されているが、このMK-150Pを購入・使用するユーザーのために、著者らが試験等を通じて感じた以下のことを注意点として挙げておく。なお、MK-150Pのサイズや重量、構造は写真4に示しているため、持ち運ぶ時などに参照されたい。

- ・MK-150Pを用いてXCTD観測を行う時にはアースを取る必要がないが、XBT(水温のみ測定プローブ)の観測時には船体などにアースを取る必要がある(木津2018)。
- ・XCTD/XBT各プローブの最大観測深度よりも浅い海域で観測する場合には、プローブが着底しても自動的に観測終了するわけではないので、観測終了後に着底以降のデータを削除する必要がある。プローブが海底に衝突すると、水温、塩分データともにスパイク状の大きな変化が現れるので、これを目印にして着底以降のデータを削除することができる。
- ・MK-150Pは観測データをメールで送信する機能を有しているが、この機能を利用するためには送信用アド

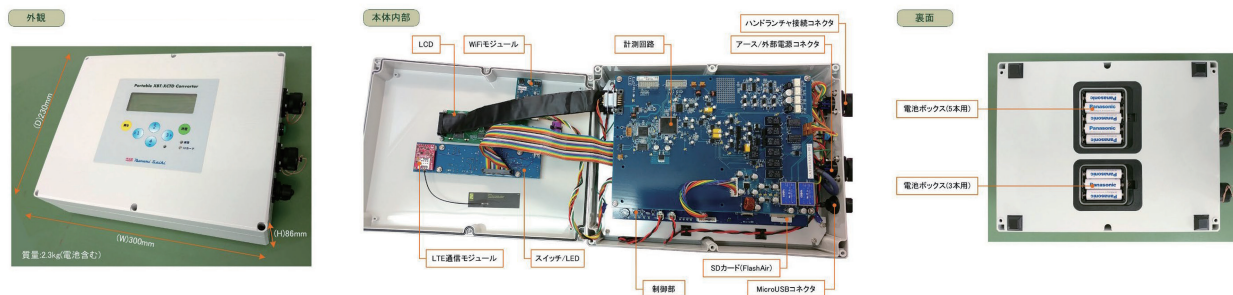


写真4. 販売版簡易型XCTD観測装置 (MK-150P) のサイズと構造

レスの付いた sim カードを挿入する必要がある。詳しくは販売元である鶴見精機に問い合わせること。

- ・観測直後にタブレット端末やスマートフォンでデータを参照する際には、MK-150P に標準装備される東芝製 Flash Air によって、Wi-Fi 環境を構築することで可能となる。なお、使用するタブレット端末やスマートフォンによっては別途 Flash Air 専用のアプリが必要な場合があるので、事前にインストールすること。

まとめと今後の展望

XCTD 観測は荒天時においても短時間で実施することができる利点があるため、XCTD 観測が普及することで水温、塩分の観測機会、観測点数を増やすことができると考えられる。ただし、採水によるサンプリングはできないので、都道府県の定線観測において、クロロフィルや栄養塩濃度のサンプル取得が必要な点では通常のCTD + ボトル採水で行い、荒天時や故障時の代替観測や観測点数増強の手段としてXCTDを活用すると良いと思われる。

さらに、XCTD 観測が漁業者に普及していけば、水温、塩分資料の充実化を図れるだけでなく、操業現場周辺での海況を把握することができるようになり、現場の海況と漁獲量との関係を明らかにしていくことで操業効率の向上につながるほか、漁場周辺の鉛直的な海洋環境の情報が詳しく得られるため、水産海洋学的に新しい知見が得られていく可能性もある。

文献

川崎 健・花輪公雄・谷口 旭・二平 章 編著 (2007) レジーム・シフト—気候変動と生物資源管理—。成山堂書店、東京、216p。
 木津昭一 (2018) XBT/XCTD。海洋観測ガイドライン、vol. 8、Chapter 2、G802JP:001-013。

Kuroda H, Setou T, Kakehi S, Ito S-I, Taneda T, Azumaya T, Inagake D, Hiroe Y, Morinaga K, Okazaki M, Yokota T, Okunishi T, Aoki K, Shimizu Y, Hasegawa D, Watanabe T (2017) Recent advances in Japanese fisheries science in the Kuroshio-Oyashio region through development of the FRA-ROMS ocean forecast system: overview of the reproducibility of reanalysis products. *Open Journal of Marine Science*, **7**, 62-90 DOI: 10.4236/ojms.2017.71006.

三重県水産研究所 (2020) 沿岸定線観測, <http://www.pref.mie.lg.jp/common/05/ci600012645.htm>, 2020年4月13日。

宮崎県水産試験場 (2019) 平成 30 年度漁況海況予報事業結果報告書、22-23。

Mizuno K, Watanabe T (1998) Preliminary results of in-situ XCTD/CTD comparison test. *J. Oceanogr.*, **54**, 373-380.

那須 司・増田紳哉・全国水産場長会 (2011) 漁海況モニタリング体制の現状について (アンケート調査から見えてくるもの)。日本水産学会誌, **77**, 727-732。

Riser S C, Freeland H J, Roemmich D, Wijffels S, Troisi A, Belbéoch M, Gilbert D, Xu J, Pouliquen S, Thresher A, Le Traon P-Y, Maze G, Klein Birgit, Ravichandran M, Grant F, Poulain P-M, Suga T, Lim B, Sterl A, Sutton P, Mork K-A, Vélez-Belchí P J, Ansorge I, King B, Turton J, Baringer M, Jayne S R (2016) Fifteen years of ocean observations with the global Argo array. *Nat. Clim. Chan.*, **6**, 145-153, DOI:10.1038/nclimate2872.

清水勇吾・奥西 武・笈 茂穂・長谷川大介・和川 拓・井桁庸介・本多直人・瀬藤 聡・黒田 寛・伊藤進一 (2017) 水産研究・教育機構における水中グライダー運用記録と今後の活用法。水産技術, **9**, 33-41。

水産研究・教育機構 (2020) プレスリリース, <http://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/index.html>, 2020年4月13日。

渡慶次力 (2018) 日向灘海況情報提供システムの開発Ⅱ-水温・塩分の鉛直観測と海面流況の試験観測-。平成 28 年度宮崎県水産試験場事業報告書, 30-33。

鶴見精機 (2020) 可搬式XBT/XCTD観測装置 MK-150P. <http://www.tsk-jp.com/index.php?page=/product/detail/53>, 2020年4月13日。

Uchida H, Shimada K, Kawano T (2011) A method for data processing to obtain high-quality XCTD data. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, **28**, 816-826. DOI: 10.1175/2011JTECHO795.1.

Usui N, Tsujino H, Nakano N, Fujii Y, Kamachi M (2011) Decay mechanism of the 2004/2005 Kuroshio large meander. *J. Geophys. Res.*, **116**, C100010, DOI:10.1029/2011JC007009.