

## 2016年田辺湾における水温・塩分濃度観測

### Field Observations on Water Temperature and Salinity Fields in Tanabe Bay in 2016

水谷英朗・馬場康之・久保輝広

Hideaki MIZUTANI, Yasuyuki BABA and Teruhiro KUBO

#### Synopsis

The annual intensive field observations have been conducted using Tanabe-Nakashima observation tower by research group of Shirahama oceanographic observatory in Tanabe bay, Wakayama prefecture. In this study, we have conducted CTD (Conductivity (salinity)-Temperature-Depth) measurements supplementarily in the same bay area during the same period as the annual intensive observations. Those CTD results showed seasonal variations of water temperature and salinity, such as thermocline and density stratification which were observed at many points in Tanabe bay and freshwater entering from neighboring rivers. This paper reports our observation activities in 2016 and shows CTD results and three-dimensional structures of water temperature and salinity based on observed data.

**キーワード:** 現地観測, 田辺湾, 水温塩分濃度観測

**Keywords:** Field observation, Tanabe bay, CTD measurements

#### 1. はじめに

沿岸域における流況や水温・塩分濃度の3次元構造は、大気海洋相互作用だけでなく陸域、河川などの影響を強く受け、洪水時の河川からの運動量や淡水流入の影響も流動構造を支配する大きな要素である。これまで大気・海洋・波浪・水文等の各領域において多くの数値モデルの開発が進められ、近年、それらの数値モデルが成熟しつつ、数値モデルの統合化研究が盛んに行なわれている。我国においては、特に沿岸域をターゲットとしたモデル統合化研究のような学際的研究は必ずしも活発ではなく、それは検証や理論の基となる沿岸海域の観測データが不足し、統合化したモデルを十分に検証できるような観測フィールドが我国に無いことも一つの理由と考えられる。

白浜海象観測所では、連続的な通年観測だけでなく、毎年夏から秋にかけて台風接近時の気象・海象データ計測を目的とした定点観測施設田辺中島高潮観測塔を用いた集中観測を実施している(馬場ら, 2014,

2015, 2016)。これらの観測は台風接近時等の強風時の海洋表層における鉛直混合等の物理過程に着目している。本研究はそれらの気象及び海象観測と並行して田辺湾海域で実施した観測活動で、観測塔の定点観測による連続的な情報に、観測船を利用したCTD観測により面的な情報を補足することを目的としている。そして、先に述べた背景下において、本研究では田辺湾海域と接する流域の観測網の充実を図り、沿岸海域のモデル統合化研究に欠かせないフィールド構築を目指す。

#### 2. 田辺湾海域CTD観測の概要

2016年7月から12月まで1か月程度の間隔で合計7回、Fig. 1の田辺湾海域においてCTD(電気伝導度(塩分)・水温・深度)観測を実施した。Fig. 2には今回の田辺湾海域計測地点の全29地点の位置を示している。沖側の計測地点は、計測機器のケーブル長の制約で設定しており、今回は40mより深い地点は計測できていない。沖側から計測開始地点St.1(南西端)、湾奥

に向かって観測船経路の計測順でナンバリングしており、緯度経度の情報はTable 1に示す。計測地点は、船舶通行の妨げにならないよう湾奥の文里港への航路（Fig. 2中の黄色線）を避け、そして湾内で浅くなっている地点を避けて設定している。全29地点のうち16地点が港域内であるため、田辺港長へ港内作業許可申請を事前に毎計測毎に行っている。

計器には総合水質センサーAAQ-171(JFE アドバンテック社)を用いた。その計器において、深度測定は圧力の変化で電気抵抗が変化する現象を利用した半導体圧力センサー、水温は温度変化に対して電気抵抗が変化するサーミスター、塩分については電極の汚れやノイズ電流の影響を受け難い7電極式センサーを用いて、海水中の電解質濃度（塩類）によって変化する電気抵抗より電気伝導度を求めた後に経験式を利用して実用塩分値に換算して求めている。Table 2には2016年に実施したCTD観測の日時と当日に実際に計測できた地点を示す。計測できなかった月もあるが1か月に1度の間隔で田辺湾内のCTD観測を実施した。

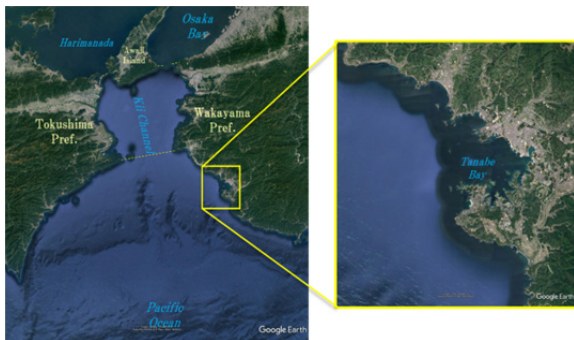


Fig. 1 Location of Tanabe bay.

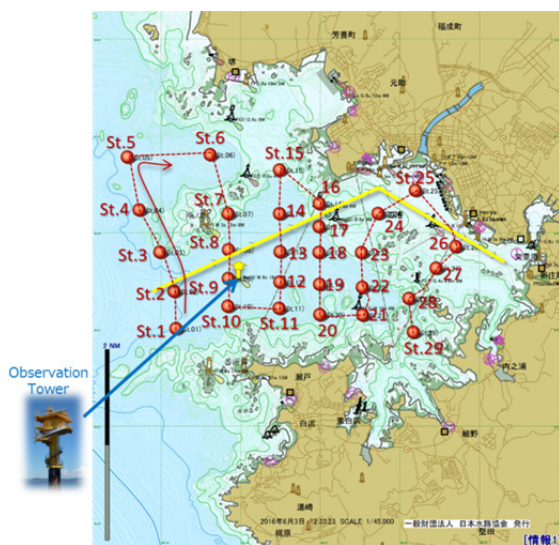


Fig. 2 Location of CTD measurement points.

Table 1 Date and time of CTD measurements

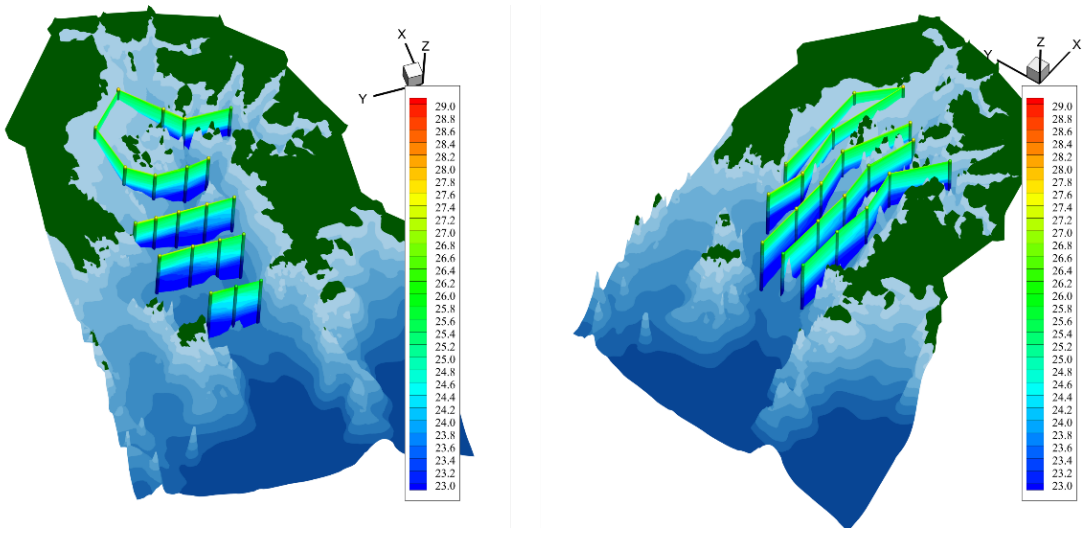
Station No.	latitude/longitude	
St. 1	N33:42.0083	E135:19.2046
St. 2	N33:42.3939	E135:19.1797
St. 3	N33:42.7969	E135:19.0004
St. 4	N33:43.2357	E135:18.7411
St. 5	N33:43.7808	E135:18.5915
St. 6	N33:43.8068	E135:19.6330
St. 7	N33:43.1960	E135:19.8572
St. 8	N33:42.8222	E135:19.8617
St. 9	N33:42.5268	E135:19.8605
St. 10	N33:42.2395	E135:19.8558
St. 11	N33:42.2180	E135:20.4994
St. 12	N33:42.4892	E135:20.5077
St. 13	N33:42.8015	E135:20.5111
St. 14	N33:43.1953	E135:20.5026
St. 15	N33:43.6475	E135:20.5046
St. 16	N33:43.3015	E135:21.0012
St. 17	N33:43.0612	E135:21.0000
St. 18	N33:42.7967	E135:21.0000
St. 19	N33:42.4669	E135:21.0073
St. 20	N33:42.1527	E135:21.0088
St. 21	N33:42.1495	E135:21.5474
St. 22	N33:42.4343	E135:21.5426
St. 23	N33:42.7934	E135:21.5336
St. 24	N33:43.1977	E135:21.7419
St. 25	N33:43.4368	E135:22.2100
St. 26	N33:42.8551	E135:22.7175
St. 27	N33:42.6336	E135:22.4706
St. 28	N33:42.3191	E135:22.1299
St. 29	N33:41.9718	E135:22.1838

Table 2 Date and time of CTD measurements

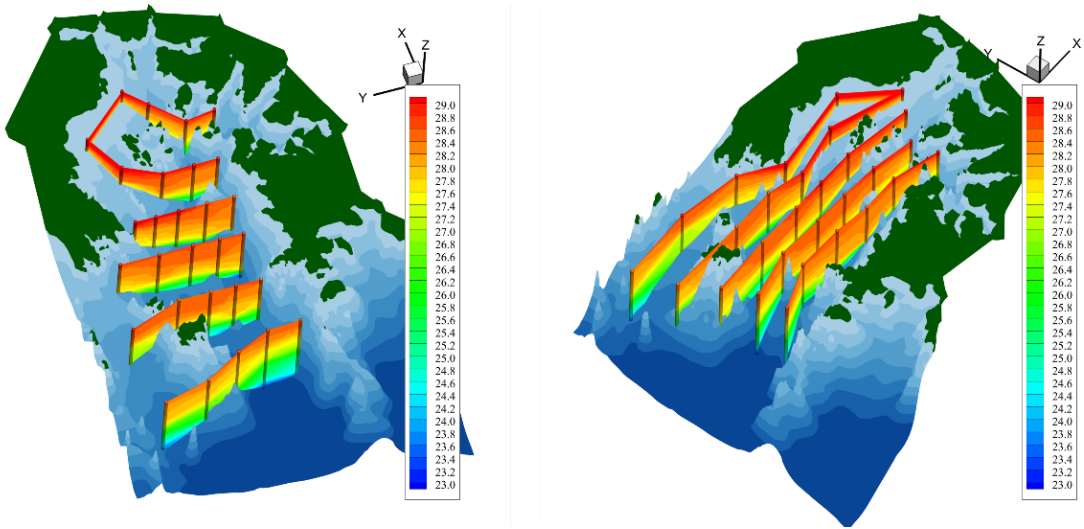
No.	Date and time	Measured points
CTD1	2016/07/12 09:30 ~	St. 8 ~ St. 14, St. 16 ~ St. 29
CTD2	2016/08/04 09:30 ~	St. 1 ~ St. 29(all points)
CTD3	2016/09/06 11:00 ~	St. 8, St. 9, St. 10, St. 14
CTD4	2016/09/09 09:20 ~	St. 1 ~ St. 29(all points)
CTD5	2016/10/08 10:45 ~	St. 9, St. 12, St. 19, St. 21
CTD6	2016/10/11 09:30 ~	St. 1 ~ St. 29(all points)
CTD7	2016/12/12 14:00 ~	St. 1 ~ St. 29(all points)

## 2.1 CTD観測結果

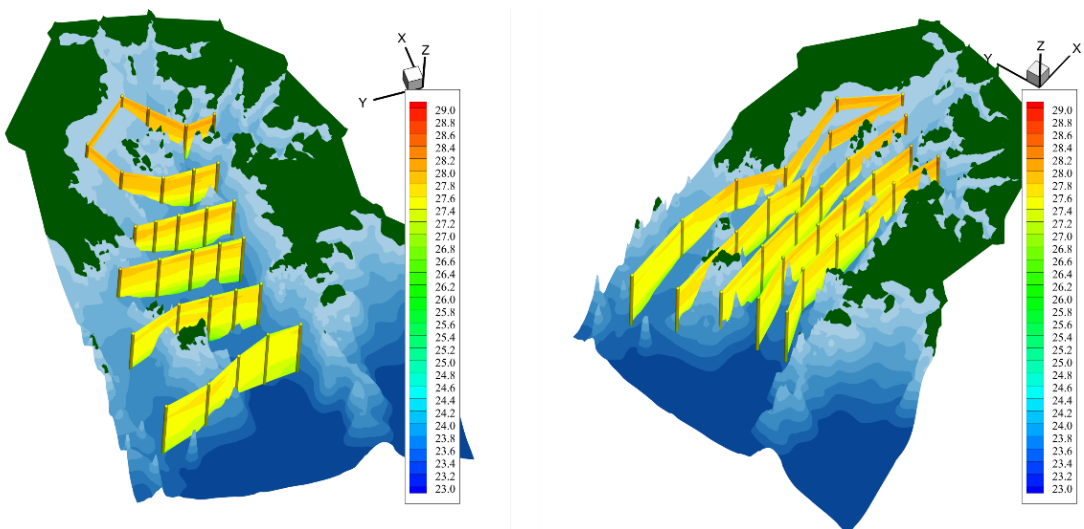
Fig. 3 ~ Fig. 5にCTD観測で得られた観測結果（水温、塩分、密度）を示す。計測地点間を南北方向及び東西方向に結び断面を作成し、計測地点の間は値を補間して3次元的な水温塩分濃度構造が確認できるよう南北断面と東西断面を分けて表示している。そして、Fig. 6 ~ Fig. 7には湾入口（St. 9）、湾中央（St. 18）、湾奥（St. 28）、左会津川流入地点近傍（St. 25）の代表地点に関する水温・塩分濃度・密度の鉛直分布の季節変化およびT-S図を示す。



(a) 2016/07/12 ; CTD1

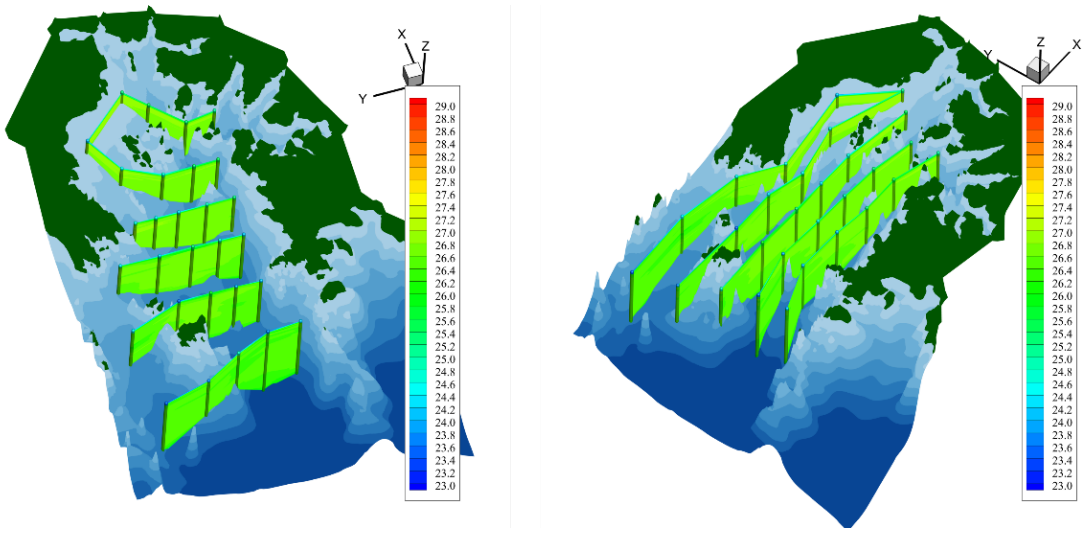


(b) 2016/08/04 ; CTD2

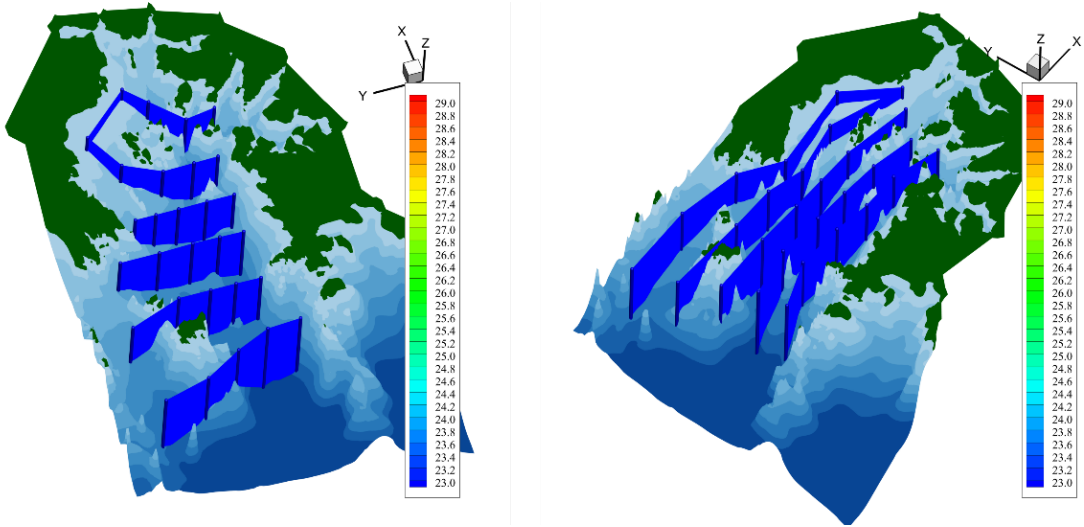


(c) 2016/09/09 ; CTD4

Fig. 3 CTD results of water temperature in Tanabe bay (left; north-south sections, right; west-east sections).

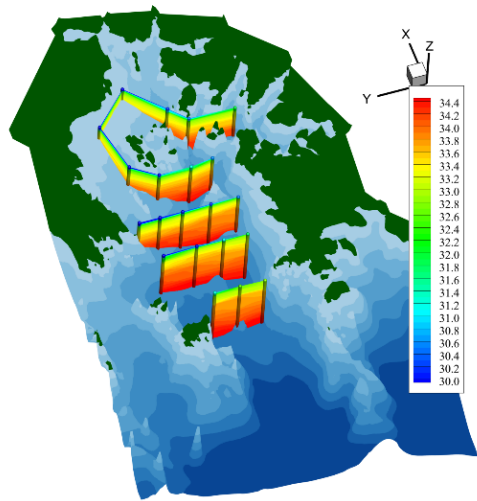


(d) 2016/10/11 ; CTD6

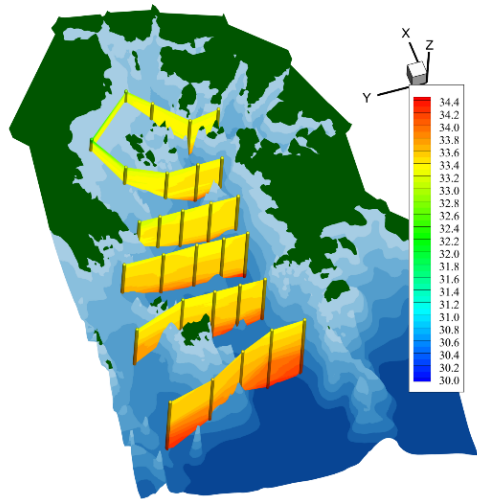
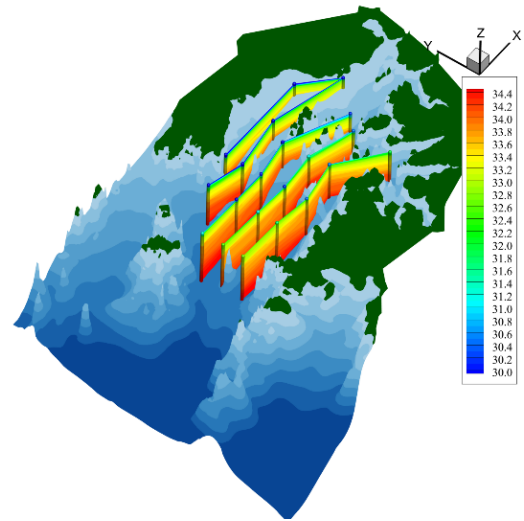


(e) 2016/12/12 ; CTD7

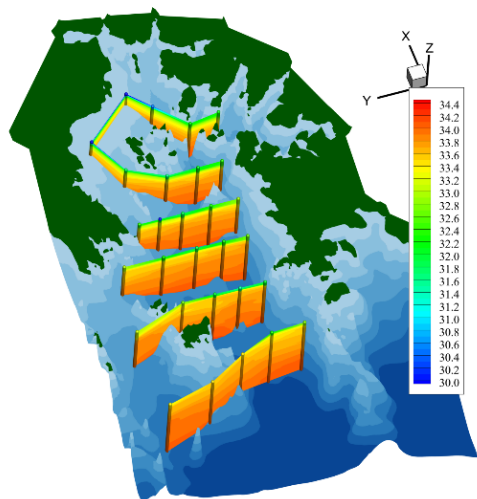
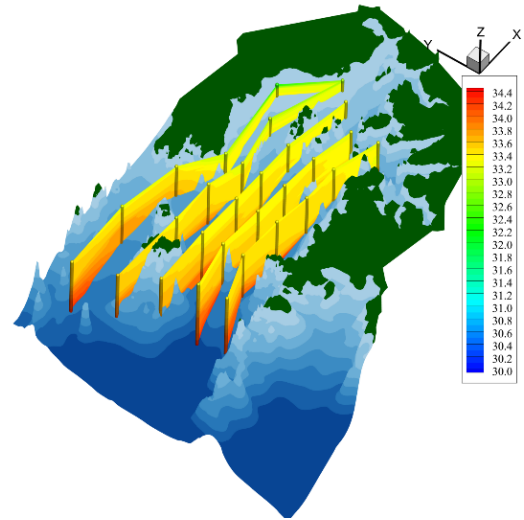
Fig. 3 (continued) CTD results of water temperature in Tanabe bay (left; north-south sections, right; west-east sections).



(a) 2016/07/12 ; CTD1



(b) 2016/08/04 ; CTD2



(c) 2016/09/09 ; CTD4

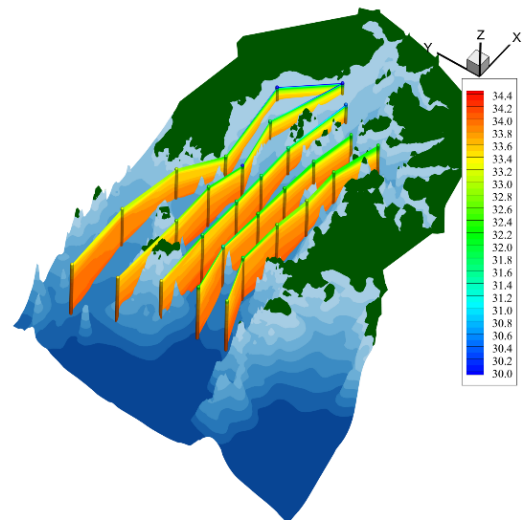
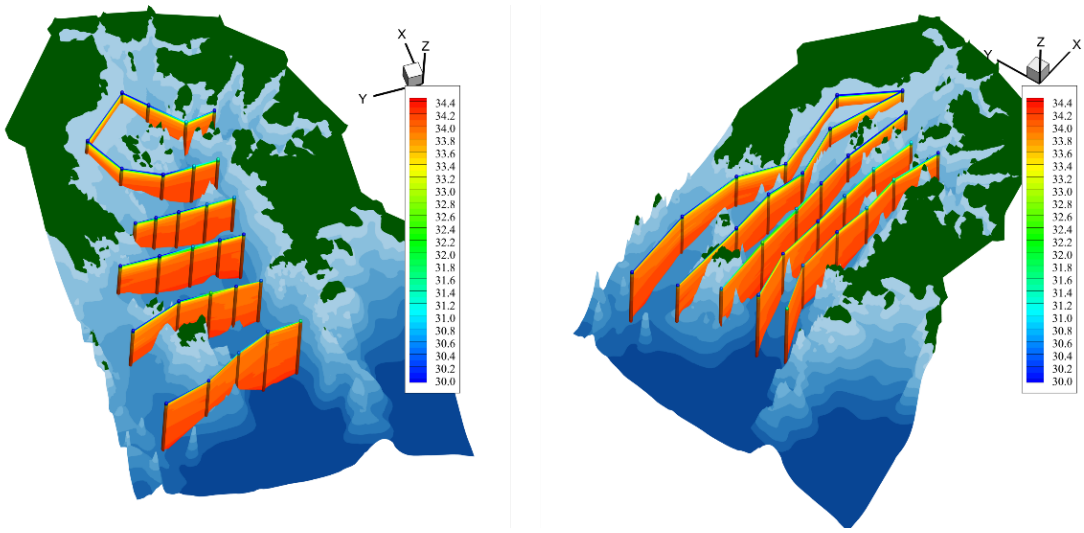
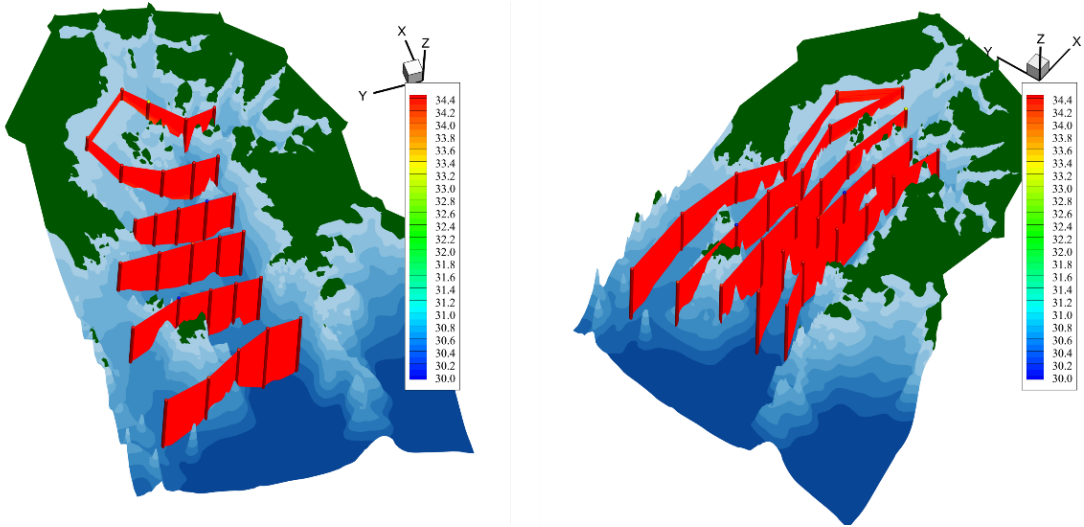


Fig. 4 CTD results of salinity in Tanabe bay (left; north-south sections, right; west-east sections).

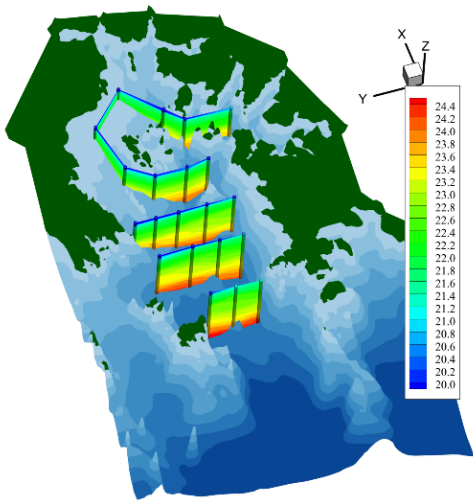


(d) 2016/10/11 ; CTD6

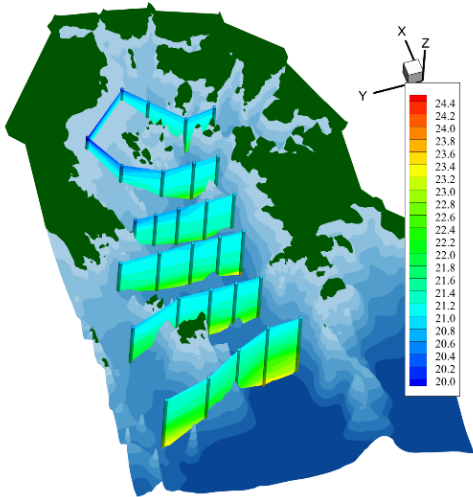
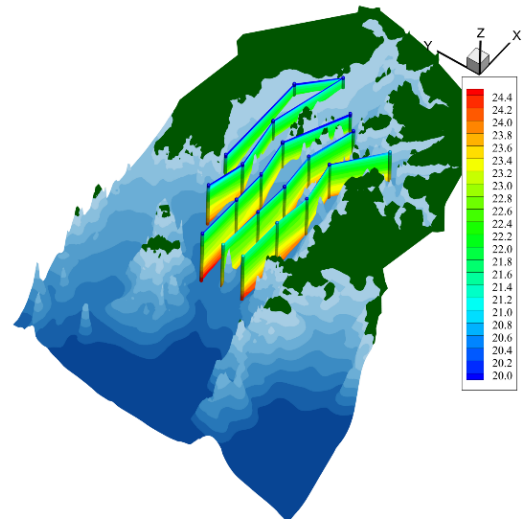


(e) 2016/12/12 ; CTD7

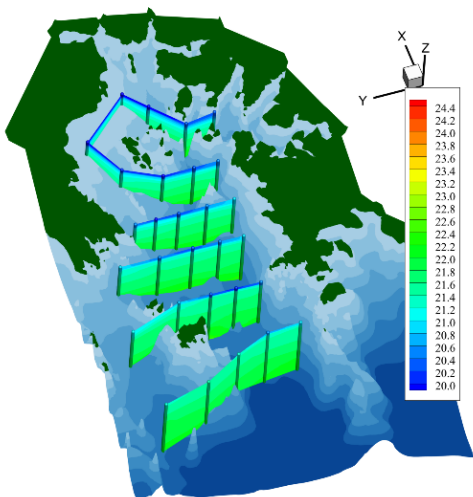
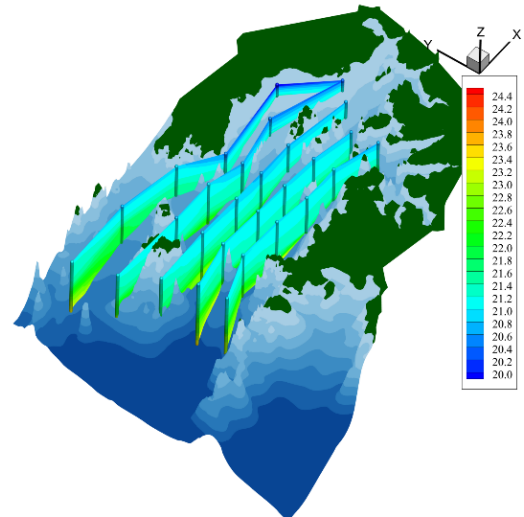
Fig. 4 (continued) CTD results of salinity in Tanabe bay (left; north-south sections, right; west-east sections).



(a) 2016/07/12 ; CTD1



(b) 2016/08/04 ; CTD2



(c) 2016/09/09 ; CTD4

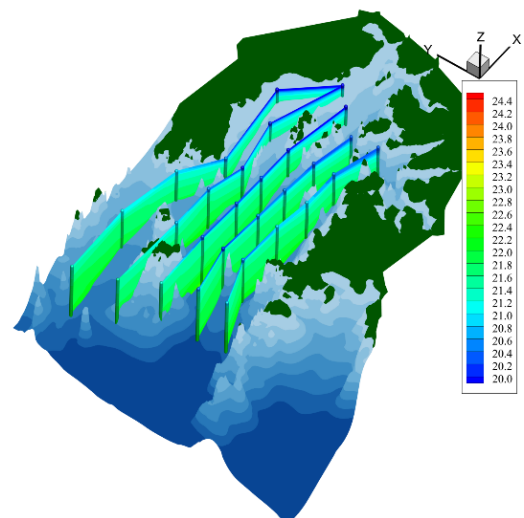
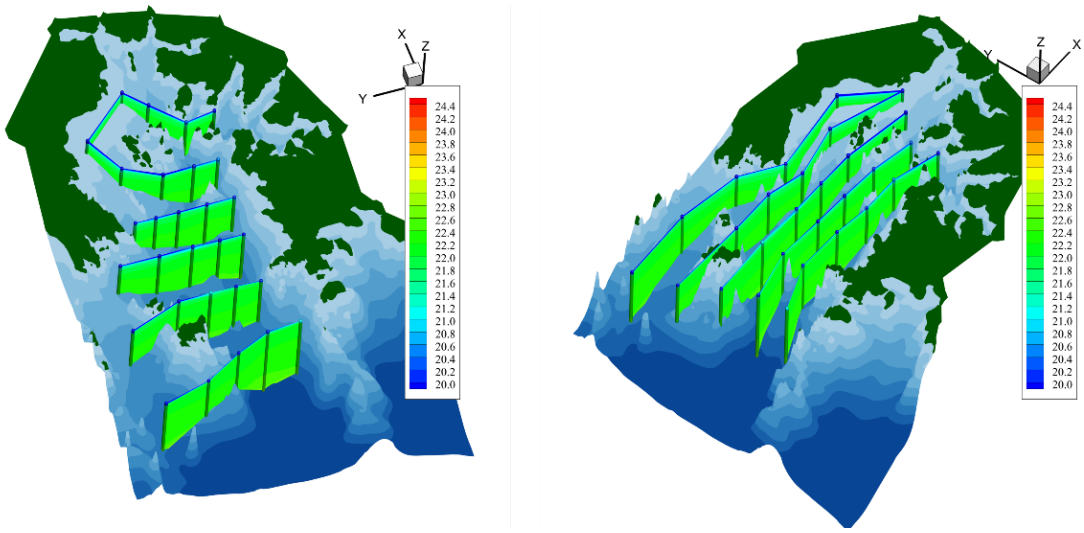
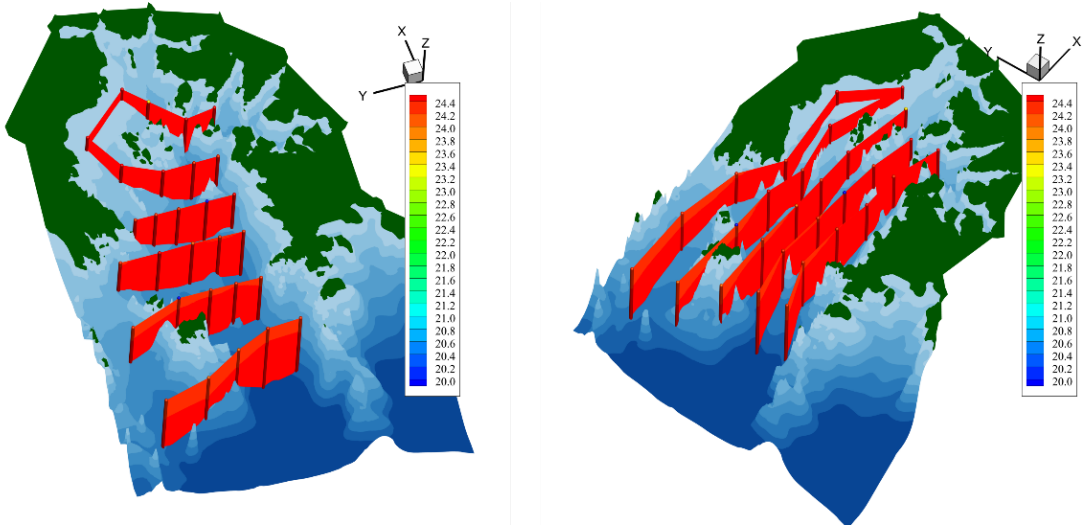


Fig. 5 CTD results of seawater density in Tanabe bay (left; north-south sections, right; west-east sections).



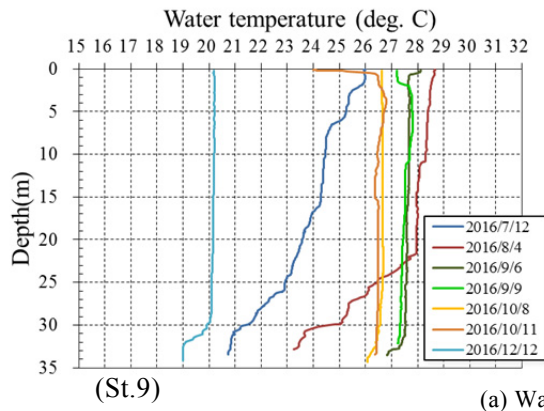
(d) 2016/10/11 ; CTD6



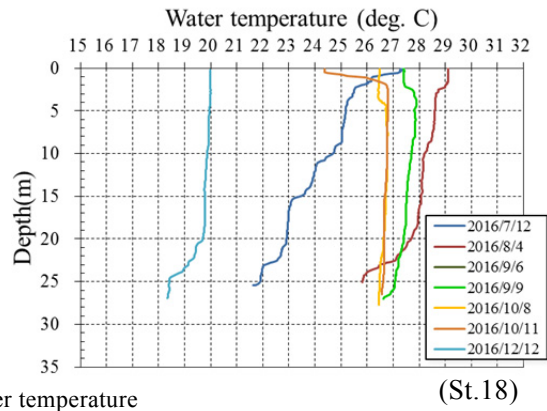
(e) 2016/12/12 ; CTD7

Fig. 5 (continued) CTD results of seawater density in Tanabe bay (left; north-south sections, right; west-east sections).

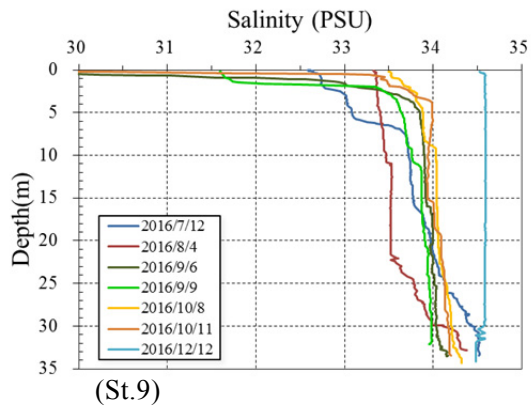




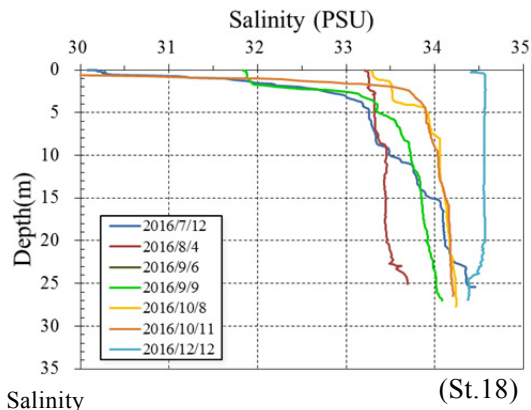
(a) Water temperature



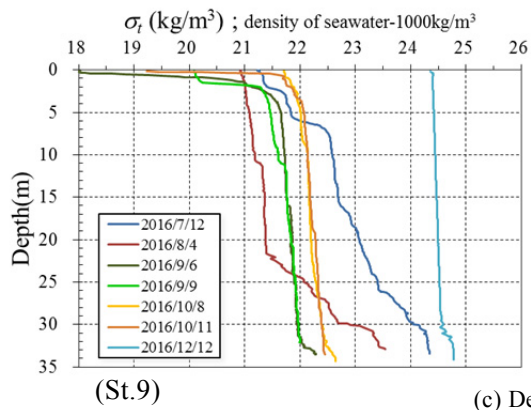
(St.18)



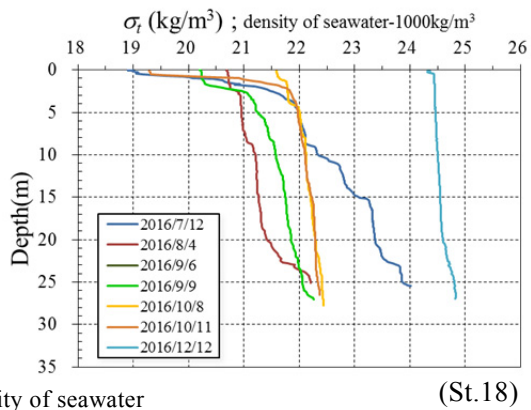
(d) Salinity



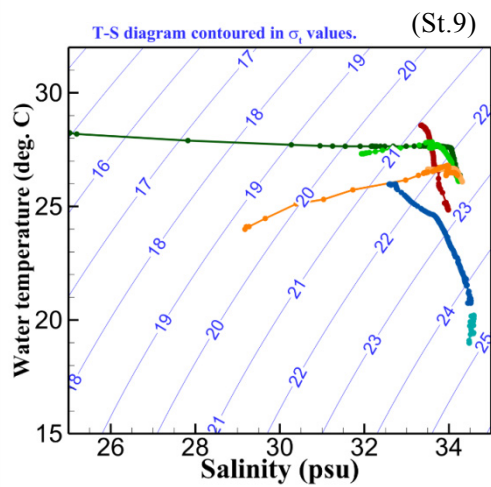
(St.18)



(c) Density of seawater



(St.18)



(d) T-S diagrams

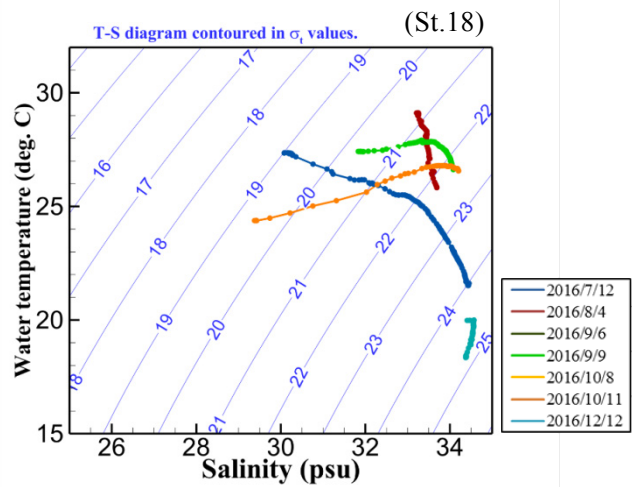
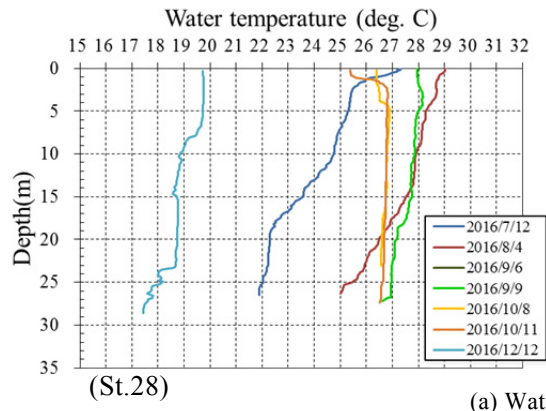
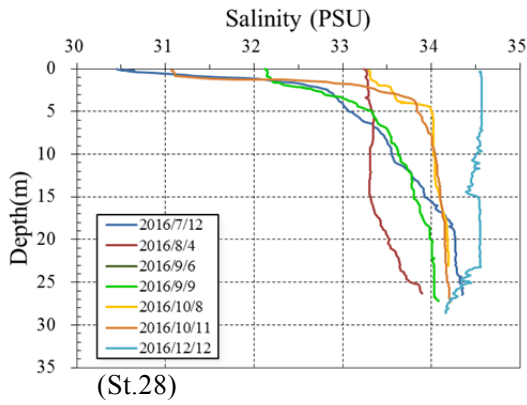
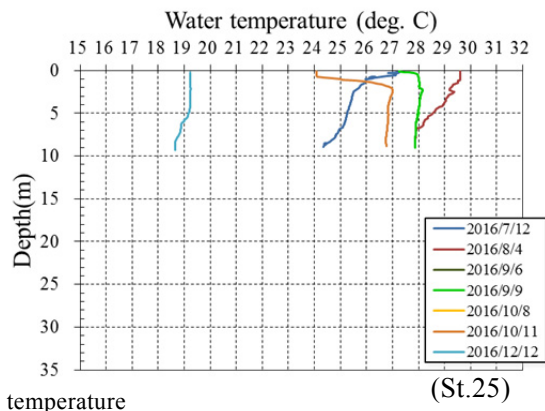


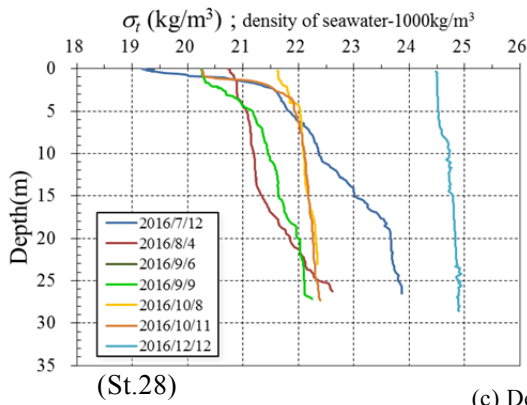
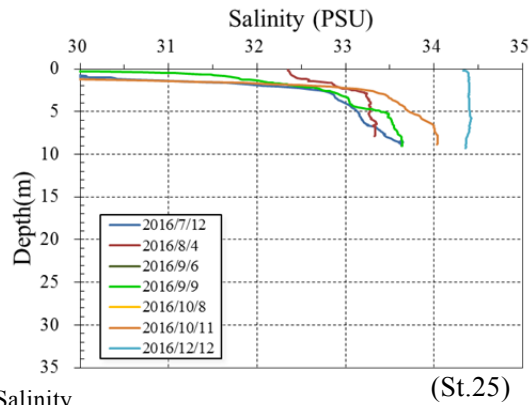
Fig. 6 Vertical profiles of water temperature, salinity and density and T-S diagrams (left; St.9, right; St.18).



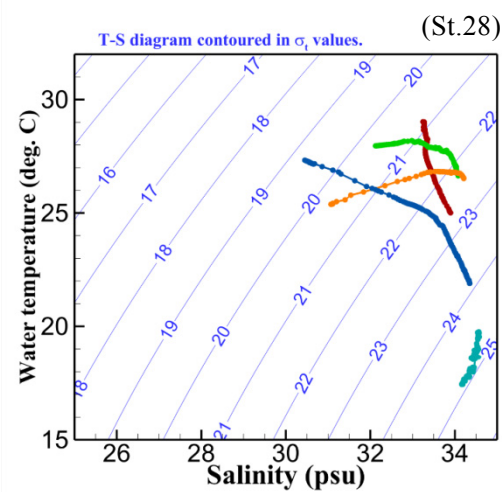
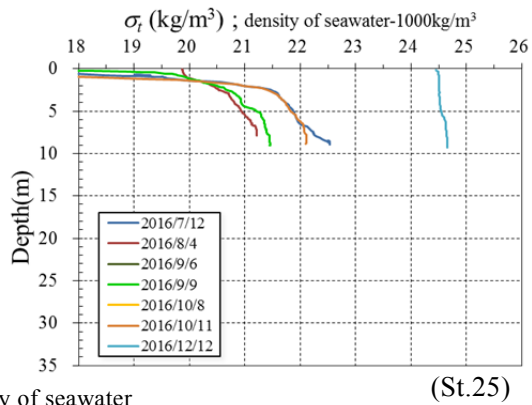
(a) Water temperature



(d) Salinity



(c) Density of seawater



(d) T-S diagrams

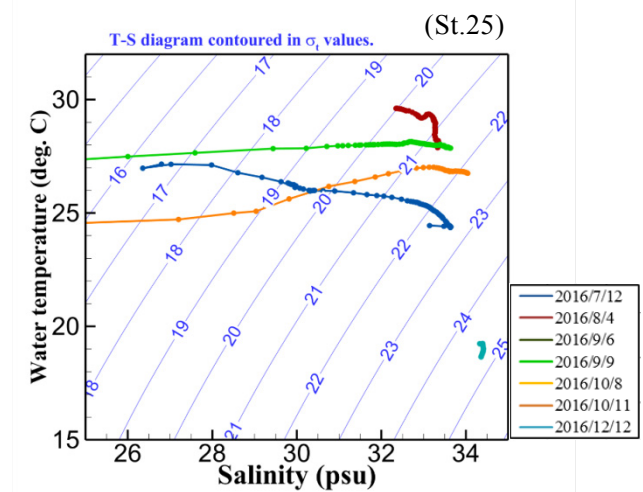


Fig. 7 Vertical profiles of water temperature, salinity and density and T-S diagrams (left; St.28, right; St.25).

田辺湾の多くの地点では、7月および8月において海底から表層までに水温差が4～5度程度の差で水温成層が発達した状況となっている。そして、9月からは徐々に水温差が小さくなり、10月には水温差1～2度程度の水温の鉛直構造が観測された。10月に入ってから混合層の発達で水温の鉛直方向の差は小さいが、河川からの淡水流入の影響で、2016年は塩分濃度場において上層・下層で依然として大きな差があり密度成層が維持されている。

## 2.2 観測塔近傍の水温変化

田辺中島高潮観測塔ではFig. 8に示す気象・海象の観測項目に加えて、夏から秋にかけて集中観測を実施しており、通年連則観測の5m、10m水深の水温だけでなく集中観測期間においてはFig. 9に示すように、観測塔側面に設けられたタラップを利用して50cm間隔で海洋表層の混合層について細かく水温計測を実施している(馬場ら, 2014)。Fig.10には2016年集中観測の約3か月間で得られた観測塔地点の各水深の水温と気温の時系列図を示す。集中観測の水温計投入期間においてCTD観測を4回(CTD3～CTD6)実施していることになるが、全地点計測できたのはCTD4, CTD6の2回である。9月から12月に向かって徐々に気温と海水温が下がり、混合層の発達が確認できる。

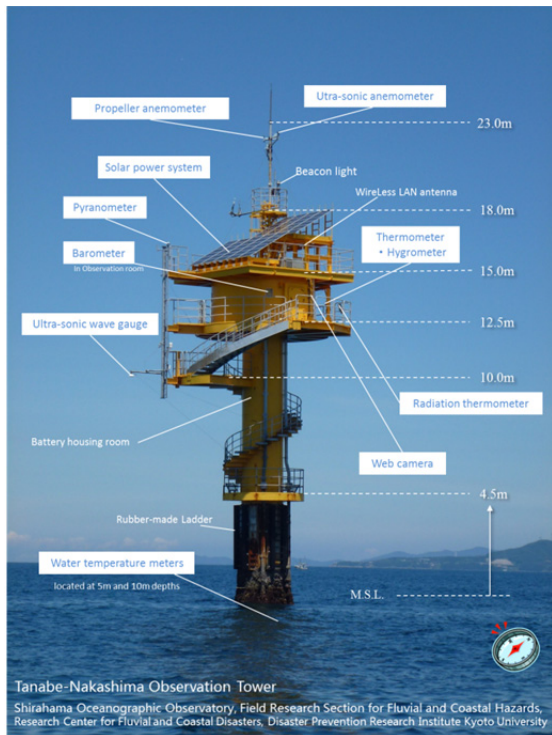


Fig. 8 Continuous observation items on the observation tower(<http://rcfed.dpri.kyoto-u.ac.jp/frs/shirahama/tower.html>).

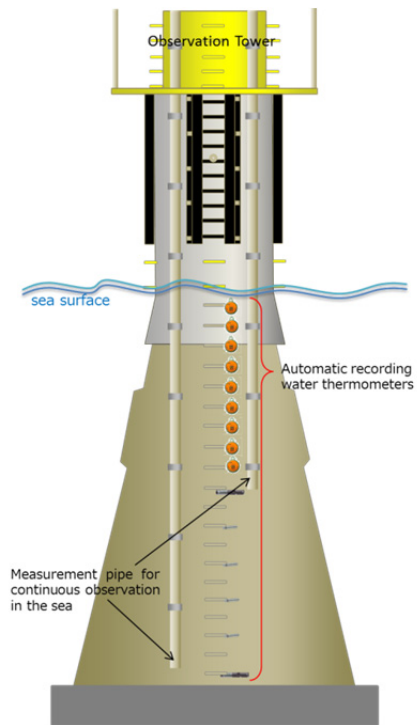
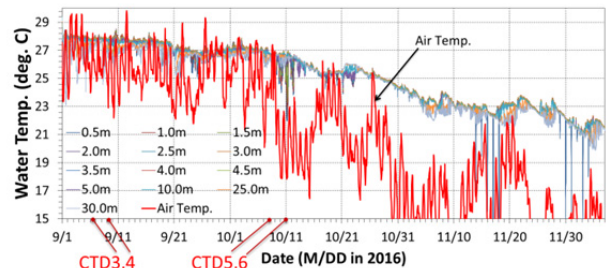
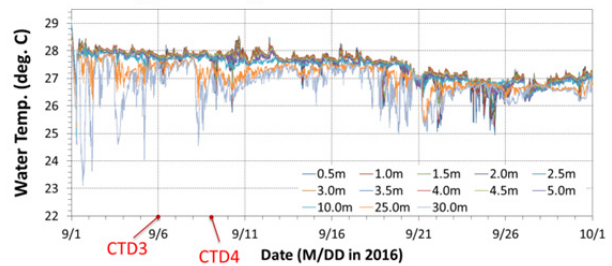


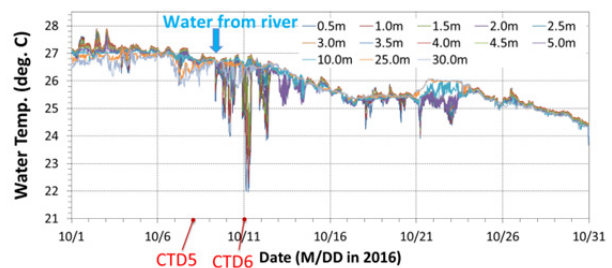
Fig. 9 Measurement of vertical profile of water temperature at observation tower.



(a) From September-November

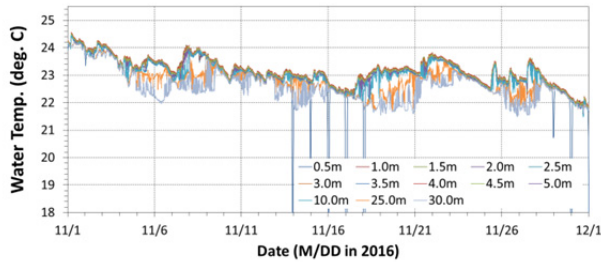


(b) September



(c) October

Fig. 10 Measurement results of water temperature at tower during intensive observation period.



(d) November

Fig. 10 (continued) Measurement results of water temperature at tower during intensive observation period.

2016年には10月9日に左会津川が増水し, 21~22の淡水が田辺湾に流入していることが別の観測(久保ら, 2017)で計測されている. Fig. 11にその左会津川出水前後の観測塔で観測された水温の鉛直構造, Fig.12, Fig.13には出水2日後のCTD観測結果(CTD6)の水温と塩分濃度場を示す. 観測塔近傍では左会津川からの出水直後, 海面から約2.5mの範囲で水温が急激に低下し, 海面付近に冷たい淡水が観測されている. それらは出水2日後のCTD観測結果からも確認され, 田辺湾全域の表層約2m程度で下層の海水温より低温で低塩分濃度の河川水が広がっている様子が観測された. また, Fig.11から観測塔近傍の海洋表層において, 塩分濃度の低い冷たい海水が出水後2日間に亘って維持され, 2日間かけてさらに水温が低下している様子が確認できる. これは流入量は少ないが出水後半の約18まで下がった淡水流入の影響と, 地上気温が水温より低かったことで表層では冷たい大気からの顕熱輸送で水温が出水直後より低下したと考えている.

### 3. まとめ

本報告は, 2016年の白浜海象観測所集中観測の期間に合わせて実施した田辺湾内のCTD観測の概要と観測結果について示したものである. 7月から12月までの間で合計7回CTD観測を実施し, 以下の結果が得られている.

- 田辺湾海域で多数地点CTD観測することで, 2016年の田辺湾海域における水温及び塩分濃度の包括的なデータを取得することができた.
- 2016年の観測期間においては, 複数回の河川からの淡水流入があり, 河川側で計測した水温より約2 高い水温が出水2日後の10/11に田辺湾内表層で観測されている.
- また, 田辺湾の多くの地点では, 7月・8月は

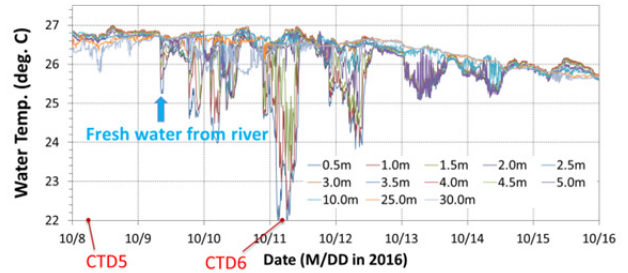


Fig. 11 Measurement results of water temperature at tower during fresh water entering from Hidari-Aizu River.

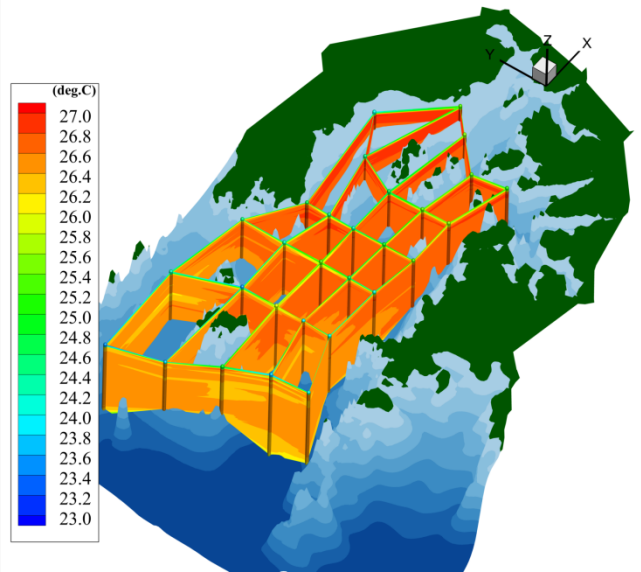


Fig. 12 CTD measurement results of water temperature on October 11, 2016.

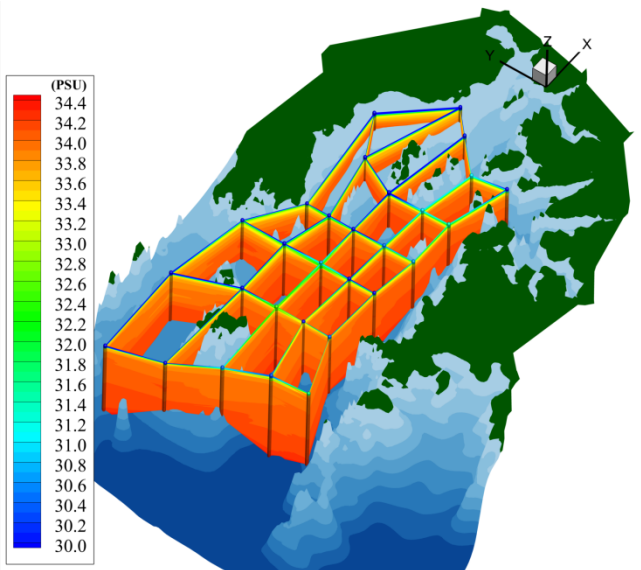


Fig. 13 CTD measurement results of salinity on October 11, 2016.

海底から表層までに水温差が4度～5度程度の差で水温成層が発達した状況であり，9月からは徐々に水温差が小さくなり，10月の出水前には水温差1～2 程度の水温に関する鉛直構造，塩分濃度においても上層・下層で差が小さくなり密度成層が維持されていない様子が観測された．

- 10月9日の出水後は，河川水の影響による約2 mの水温逆転層が観測され，下層に比べ3～4 程度水温が低い淡水が田辺湾海域表層で観測された。
- 12月においては密度が鉛直一様に近づき混合層が発達している結果が確認された．

今回の報告では，2016年に実施したCTD観測の方法や観測結果の概略説明にとどまったが，観測で得られた田辺湾内の3次元的な水温・塩分濃度場のデータは，数値モデルの開発や精度検証や精度向上に資するものであり，今後は沿岸海域の数値モデルの研究に役立てたいと考えている．

#### 謝 辞

本研究は，文部科学省 科学研究費助成事業若手研究(B) (課題番号26820202，代表：水谷英朗) の助成

を受けたものである．ここに記して感謝の意を表します．

#### 参考文献

- 久保輝広・水谷英朗・武藤裕則(2017)：田辺湾近隣河川における河床設置型河川水温計測，京都大学防災研究所年報，第60号B (掲載予定)．
- 馬場康之・水谷英朗・久保輝広・内山雄介・森 信人・渡部靖憲・大塚淳一・山田朋人・猿渡亜由未・二宮順一 (2014)：台風通過に伴う田辺湾湾口部における海水温変化について，土木学会論文集B2 (海岸工学)，Vol.70，No.2, pp. I\_476-I\_480.
- 馬場康之，水谷英朗，久保輝広，内山雄介，森信人，渡部靖憲，山田朋人，猿渡亜由未，大塚淳一，二宮順一(2015)：田辺中島高潮観測塔における2014年夏季観測結果，京都大学防災研究所年報，第58号B, 6月.
- 馬場康之・水谷英朗・久保輝広・内山雄介・森信人・渡部靖憲・山田朋人・猿渡亜由未・大塚淳一・二宮順一(2016)：田辺中島高潮観測塔における2015年夏季観測結果，京都大学防災研究所年報，第59号B，pp.431 -437.

(論文受理日：2017年6月13日)