

金属・非金属筐体に対する電気伝導度センサーの感度評価

石井, 大輔
九州大学応用力学研究所技術室

<https://hdl.handle.net/2324/17074>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート. 8, pp.51-67, 2007-03. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

金属・非金属筐体に対する電気伝導度センサーの感度評価

九州大学応用力学研究所 技術室
石井 大輔

1. はじめに

表層流動の収束・発散場と海洋表層における基礎生産場の関連性に着目した研究において、複数の漂流ブイを用いた表層流動観測が行なわれている（例えば、Michida *et al.*, 2006；石井・柳, 2006；石井ら, 2006；石井ら, 2007；柳ら, 投稿中）。特に本研究室では、GPS（Global Positioning System）システムを搭載し自身の位置情報（緯度・経度・時刻）と表層水温（SST）データを基地局側に定期送信するラジオブイ（太洋無線製）を利用した観測システムを運用することで、ある評価法に基づいて推定した表層収束・発散と表層基礎生産の関連性について物理的視点からの解明を目指している。そして最終的には、海洋生物パッチネス（斑状性構造：空間的に不均一な分布形態）の生成・維持・消滅機構を究明しようと取り組んでいる。

近年、両者の対応関係が少しずつ明らかにされつつある中、塩分計を装備した漂流ブイ観測により得られた表層塩分の時空間変化から、底層から表層への栄養塩供給の存在を示唆する結果が報告されている（Matsuno *et al.*, 2006）。同論文で利用されている漂流ブイは、あらかじめ塩分計が装備されたタイプのもので、衛星経由で取得できる位置情報と一緒に塩分観測値もデータ配信可能な新型機種である。そのため、長期間ブイを漂流させ、観測された諸量を遠隔地でリアルタイムモニターする場合に、当該機種は非常に優れた観測システムである。しかしながら、塩分計非搭載品や他の通信方式品と比べて製品価格が5～10倍もすることから、複数機の塩分計搭載型ブイを必要とする場合には、そこがボトルネックになる可能性も否定できない。

現在市販されている塩分計は、安価で小型軽量、本体搭載メモリに記録するロガータイプのものが多く目に付く。リアルタイムに塩分特性を把握する必要がなく、測器回収後に観測データ（塩分）を取得・閲覧できれば良い状況ならば、安価なメモリ式小型塩分計を漂流ブイに別途装着する方がコスト的には格段に抑えられるので、限られた予算内で測器の拡充を検討する場合においては非常に有効である。そこで、本研究室においても同手法を適用して海上において試行できるか否かを検討した。

但し、漂流ブイに塩分計を装着するといっても、そんなに簡単なことではない。それは、塩分を計測する（厳密には水温と電気伝導度から塩分に換算する）電気伝導度センサー（以下、COND センサーと略す）は装着する周辺環境に影響されること、そしてそれが測定誤差の要因になることが予想されるからである。現在普及している2～4電極を有する電磁誘導

セルタイプのもは、生物付着や電極部の汚れによる管内電流経路の妨害、回り込み電流の影響を受け易く、それが電気伝導度特性、すなわち塩分特性に効いてくるため、塩分計をブイに装着する際は周辺部材（特に金属）などの影響を十分に考慮した接続設計をしなければならない。

2. 目的

本研究は、小型塩分計を装着した漂流ブイ観測において塩分が周辺環境の影響を極力受けることなく計測できるように、塩分計装着箇所であるブイ外筐部（ステンレス）に対する COND センサーの感度解析を塩水実験水槽内で行ない、塩分の測定精度が許容できる配置条件を把握することを目的とする。その上で、漂流ブイに小型塩分計を装着するために必要となる接続治具の設計・製作を試みる。

なお本稿では、将来における技術展開・応用も視野に入れ、別の材質である、チタン・アルミニウム・塩化ビニル樹脂（通称、塩ビ）といった金属・非金属に対しても、本実験と同様の COND センサー感度解析を実施し、材質の違いによる電気伝導度（塩分）の特性差異に関して興味深い知見を得たので、合わせて報告する。

3. 実験に関する諸条件

以下に、実験に使用した測器や諸条件などについて簡単述べる。

- 小型塩分計（Compact-CT：ALEC 電子製、 $\phi 4\text{cm} \times 20\text{cm}$ / 図 1 参照）
※近年、前章までに述べた問題を幾分改善した塩分計（管内 7 電極センサー＋管内清掃用ピストンワイパー装備：Compact-CTW）が発売されており、塩分観測に多大な成果を挙げていることは承知しているが、小型な漂流ブイに直付け装着するには過大形状のため（ $\cong \phi 7\text{cm} \times 43\text{cm}$ ）採用しなかった。
- 実験用ステンレス水槽（図 2 / ステンレス実験時は水槽壁面との効果を検証した）
- 対象部材がステンレス以外の場合、水中内に円筒型の対象部材を配置し、それとの効果を検証した（図 3 参照、ステンレス実験水槽壁面との距離は十分に確保している）
- 対象部材から COND センサー中心部までの長さのことを、以下「距離」と定義する。
※図 4（a）のように、対象部材面と塩分計の接触時の距離は、「2cm」を意味する（小型塩分計の円筒部半径が 2cm であることから）。
- 塩分計をセットする距離の初期値は、「10cm」とする。
- 初期位置（距離 10cm）から 1cm ずつ塩分計を対象部材面に近づけていく（図 4b）。両者が接触したら（距離 2cm）、再度 1cm ずつ対象部材から離していき、距離が 10cm になるまで継続する。各位置での計測時間は、30 秒もしくは 60 秒である。
- 対象部材面に対する小型塩分計の配置条件である、「正面向き」と「横向き」で上記の実験を行なう。「正面向き」および「横向き」の定義については、図 5 を参照のこと。

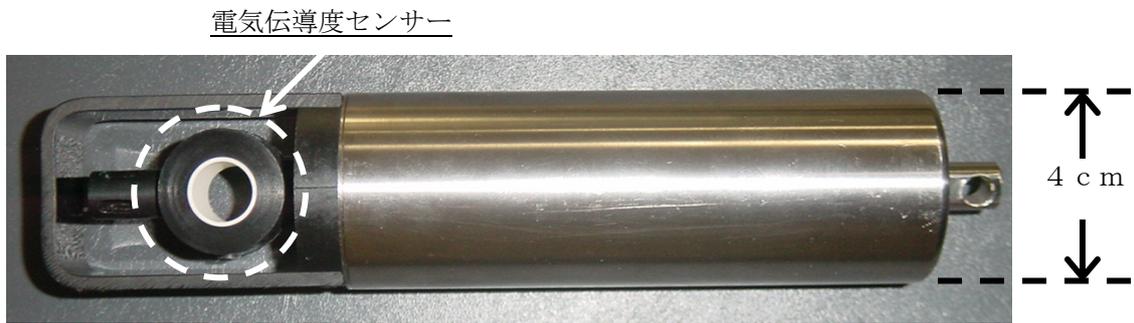


図 1. 小型塩分計の概略図

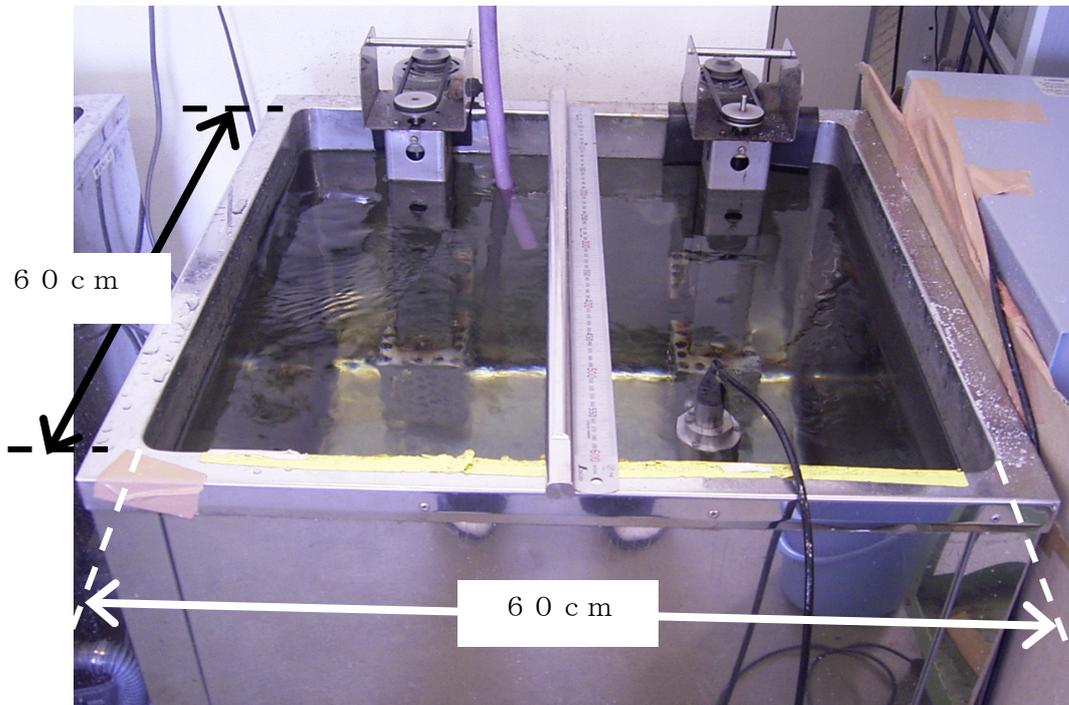


図 2. 実験用水槽（ステンレス材）

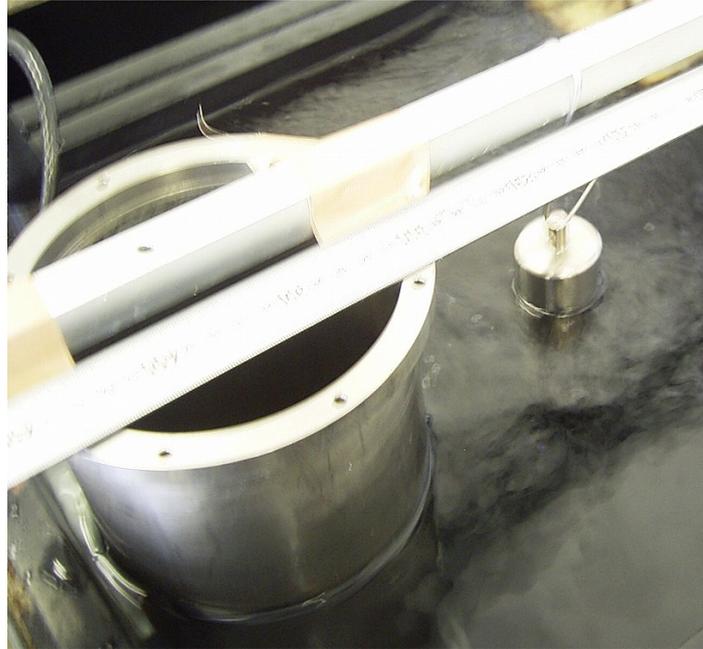


図3. 対象部材としてチタン（中空円筒）を水中内に配置した時の実験風景

(a)

(b)

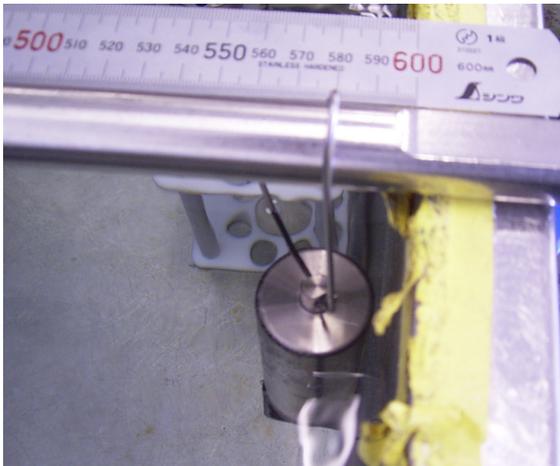


図4. 実験用ステンレス水槽内における小型塩分計の配置風景、(a) 図1より塩分計外形φが4cmであることから、水槽接触時の電気伝導度センサー中心位置は最初から水槽より2cm離れていることに注意、(b) 上部支柱から吊り下げた状態で塩分計を水平移動させ、水槽壁面との距離を調整する例

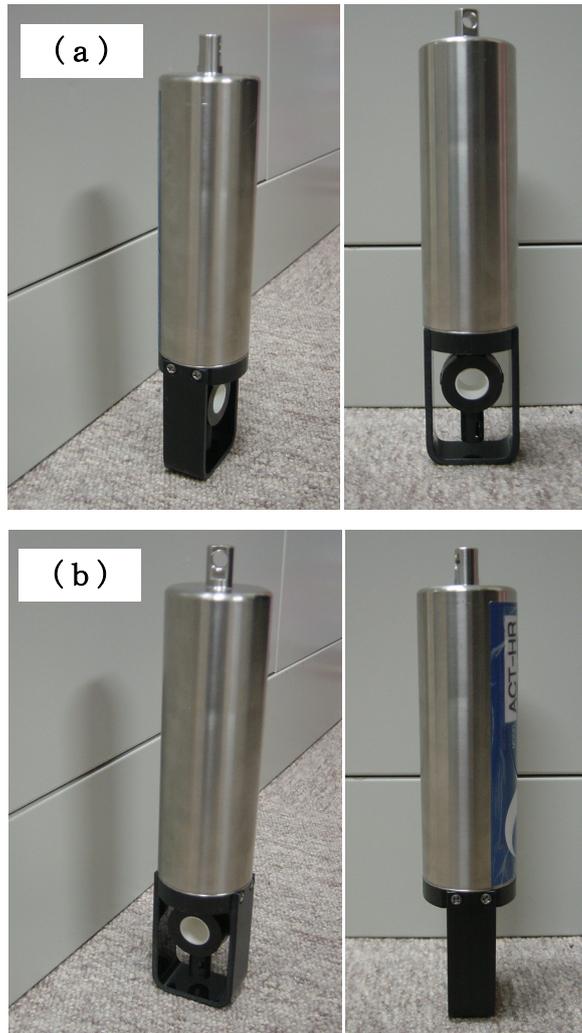


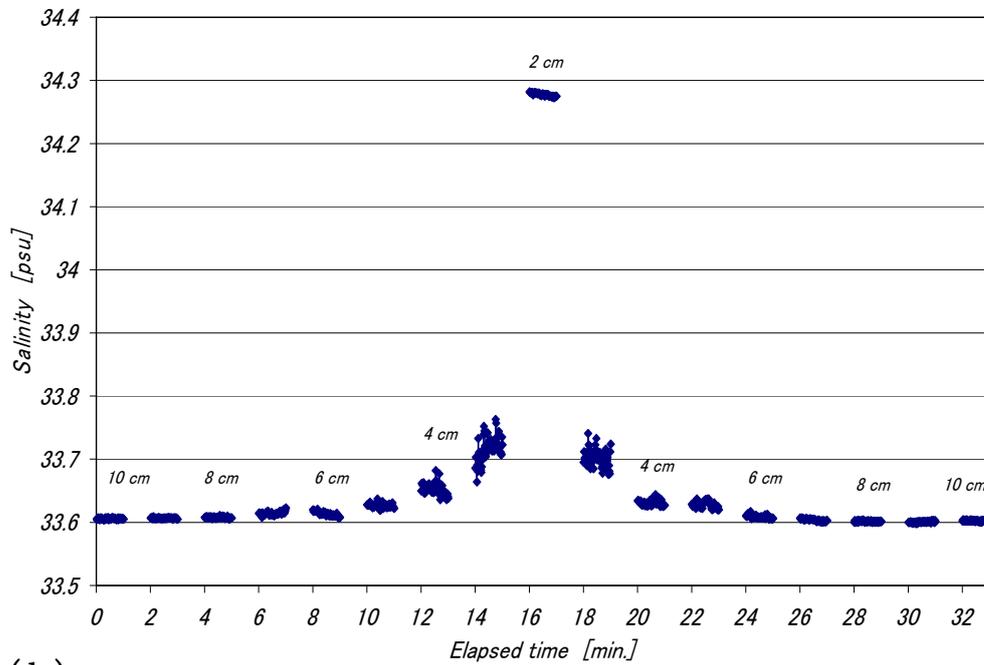
図5. 対象部材面に対する電気伝導度センサーの配置に関する定義
 (a) 正面向き , (b) 横向き

4. 金属・非金属に対する電気伝導度センサーの諸特性

塩分計の配置方向を「正面向き」にした時の塩分特性を図6に、「横向き」にした時のそれを図7に示す。ちなみに、「正面向き」と「横向き」の実験は両者異なる日に実施したため、海水中の設定塩分は両日で若干異なっていることを付記しておく。

両図(a)は接触時(距離2cm)を境にほぼ左右対象な凸形特性を示しており、ヒステリシスなく塩分が計測されていることが見て取れる。しかしながら、塩分計がステンレス水槽壁面に近づくほど測定バラツキ(標準偏差)が大きく、また塩分絶対値も上昇している。これは、CONDセンサーがステンレス材に近づくことで周辺磁場に影響が及んでしまい、結果として海水の塩分を忠実に計測できていないことを示唆している。

(a)



(b)

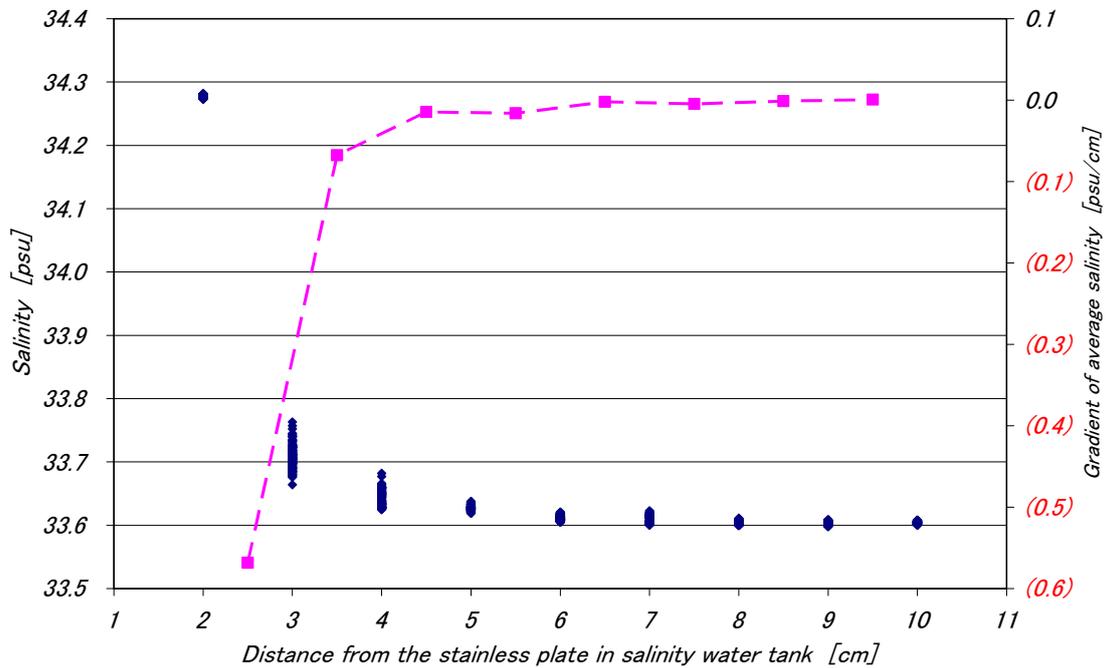


図6. ステンレス面に対して塩分計を【正面向き】に配置した時の、(a) 塩分変動の時系列特性 (同地点で60秒間測定後、1cmずつ水平移動させている。「2cm」は最近接)、(b) ステンレス面と電気伝導度センサー間距離に対する塩分変動 (◆) と塩分変化率 (■)、同図 (a) で示した時系列データを横軸「距離」で集約している。

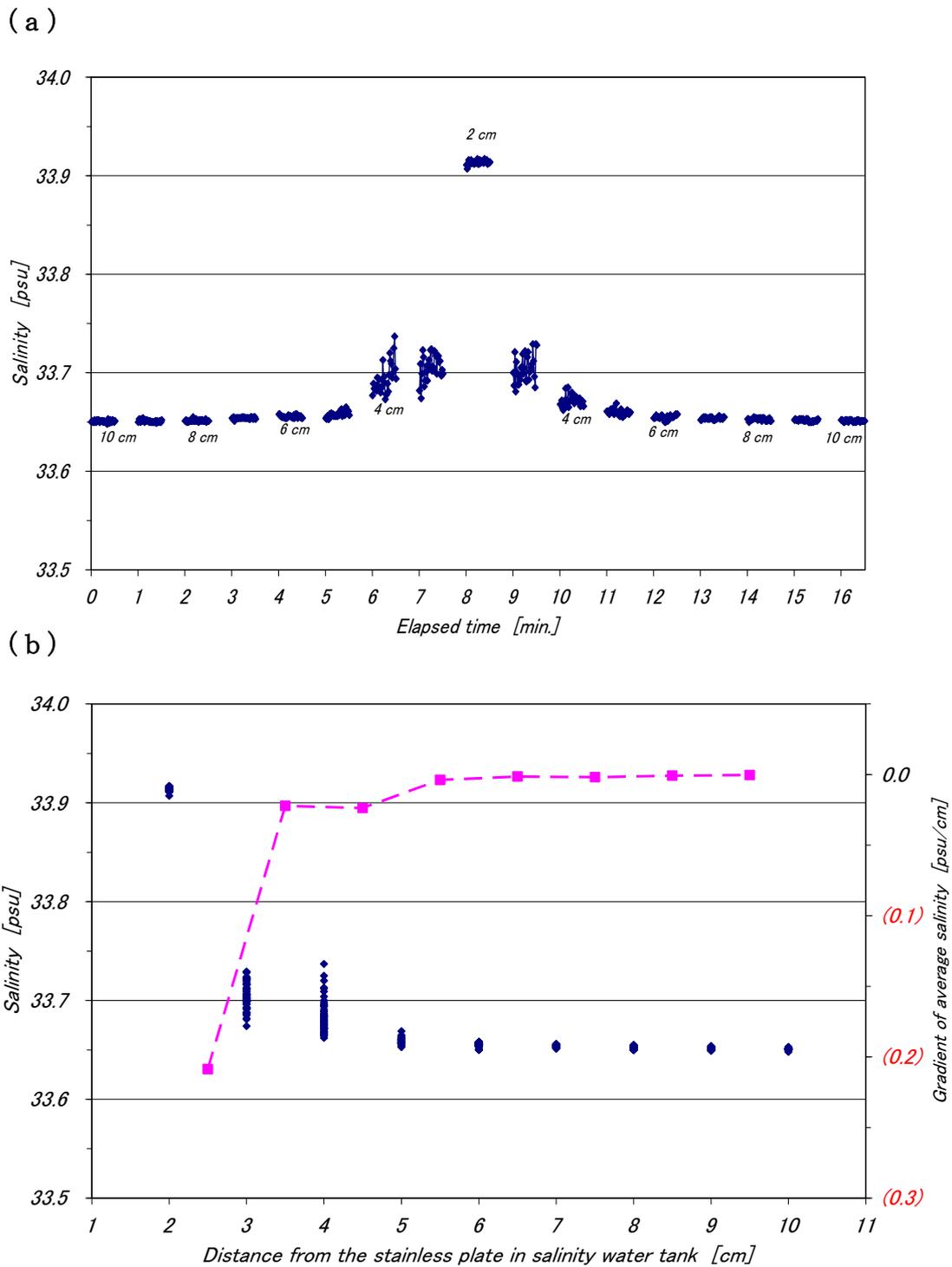


図7. ステンレス面に対して塩分計を【横向き】に配置した時の、(a) 塩分変動の時系列特性 (同地点で 30 秒間測定後、1cm ずつ水平移動させている。「2cm」は最近接)、(b) ステンレス面と電気伝導度センサー間距離に対する塩分変動(◆)と塩分変化率(■)、同図 (a) で示した時系列データを横軸「距離」で集約している。

図 6 (b) および図 7 (b) に、距離(x)に対する塩分測定値 (S) とその変化率 (dS/dx) を示す。塩分変化率の定義は、 $dS/dx(X) = S(x) - S(x-1)$ とする ($X = [x + (x-1)] / 2$)。ある程度距離が長くなると塩分の計測バラツキも殆ど見られなくなり、塩分変化率がほぼフラットになり始める距離は、正面向き設定で 5cm 前後、横向き設定で 6cm 前後であった。

また、距離 10cm の時の塩分に対する各距離の時の塩分偏差を図 8 に示す。同図を概観すると、ステンレス水槽面に対して「正面向き」に塩分計を配置した場合の方が「横向き」に配置した場合より、両者が接近した時の塩分偏差が大きいことが見て取れる。COND センサー空洞内を直進する磁束と金属面が直交しているために磁束が大きく曲げられ、それが不要な回り込み電流を発生させてしまい影響したのではないかと推察される。

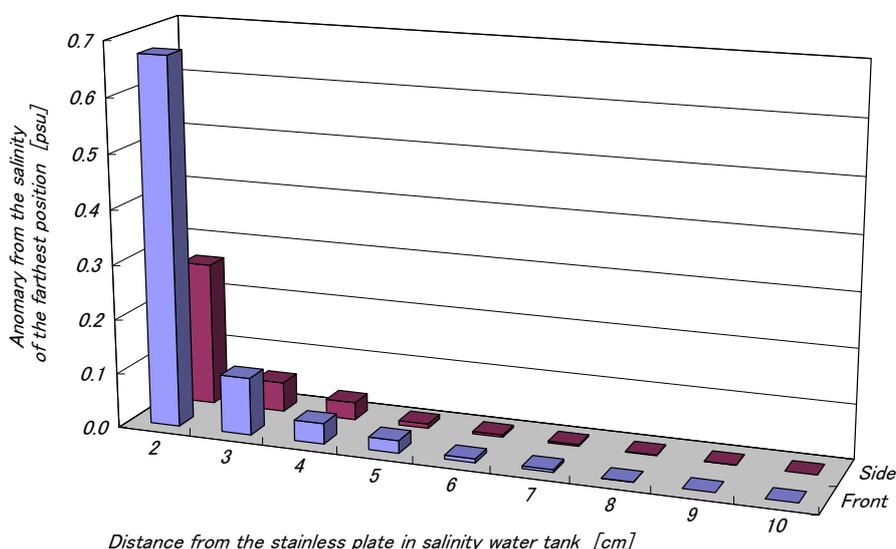


図 8. ステンレス面-COND センサー中心間距離が最長時 (10cm) の塩分を基準とした時の各距離における塩分偏差 (手前 : 「正面向き」 配置時、奥 : 「横向き」 配置時)

塩分の計測精度が $\pm 0.03 \sim 0.04$ psu 程度 (電気伝導度の公称精度 : ± 0.05 mS/cm (今回水温はほぼ 20°C 一定で計測)) であることを鑑みても、ステンレス面と塩分計を接続する際は上述のように両者の「距離」を 6cm 以上確保し、更にはステンレス面に対して塩分計が「横向き」になるように配置すれば、電気伝導度すなわち塩分が精度良く (周辺から受ける悪影響が無視できる程度に) 計測できることが判明した。

本結果より、ステンレス面と COND センサー中心間距離が 6cm 確保できれば大丈夫であるが、治具の製作マージンと図 9 に示すブイ外筐部と一点鎖線間への配置 (ブイの浮子幅より内側に配置させることで、不慮の外部接触等による塩分計破損を極力回避するため) を見込んで、距離が 7cm 確保できる接続治具を設計・製作した (図 9)。同図に、漂流ブイ外筐部への塩分計装着例を示すが、既述の実験結果に基づいた「横向き」の配置である。

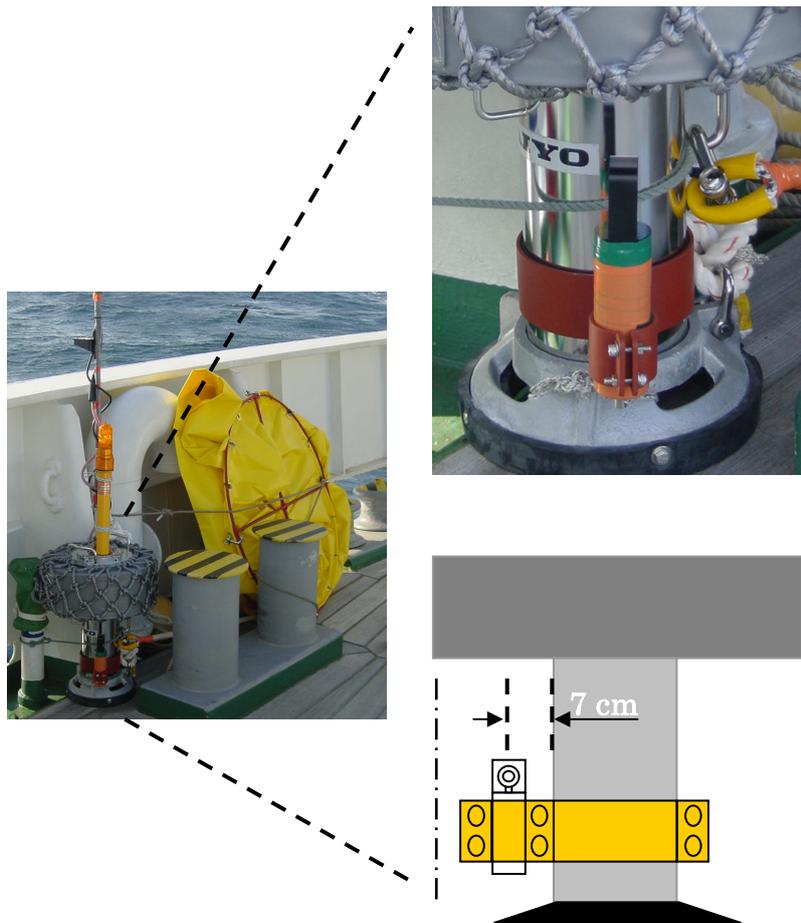
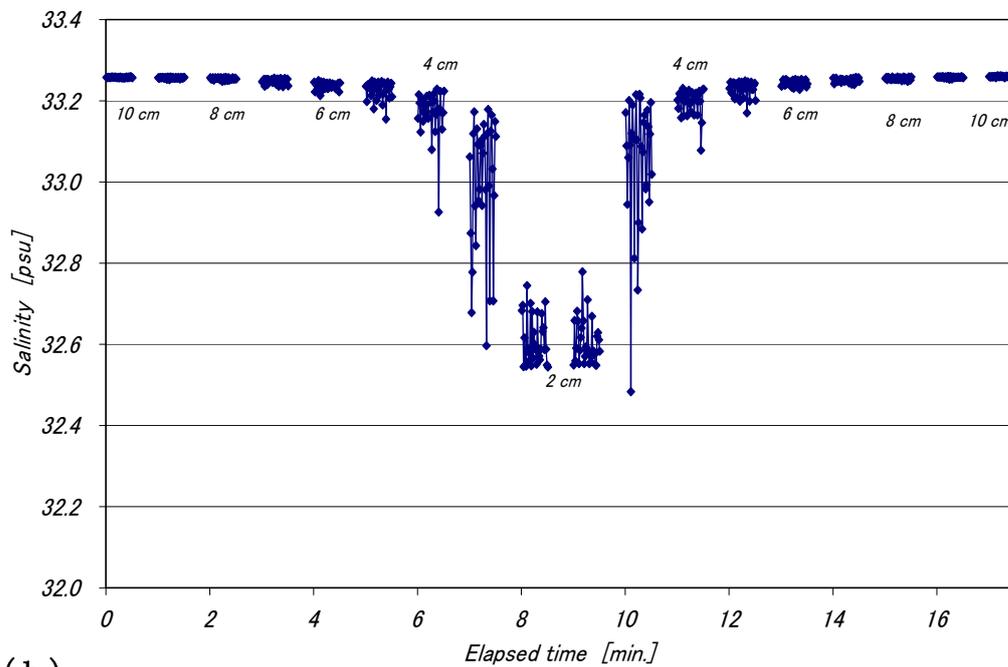


図9. 漂流ブイのステンレス外筐部に小型塩分計を装着した際の風景
 (横向き, ステンレス外筐面からのセンサー中心部距離: 7cm)

本来これで完了であるが、2章でも述べたように本件の将来的な技術展開や応用を念頭に置き、別の材質である、アルミニウム・チタン・塩化ビニル樹脂（塩ビ）といった金属・非金属に対しても、本実験と同様のCONDセンサー感度解析を追試した。材質と配置の違いによる塩分特性を、それぞれ図10・図11・図12・図13・図14・図15に示す。実験手法および定義などの詳細は3章に従っている。また、先述したステンレス部材での実験結果とこれらの結果を集約し、距離に対する塩分特性を重畳させて描画したものを図16に示す。

詳細な議論は割愛するが、基本的にどの部材を対象としても、CONDセンサーとの距離が短くなる程、測定によるバラツキ誤差が大きくなり（図10～図15）、距離最長時の塩分に対する塩分偏差も次第に大きくなる傾向が認められた。しかしながら、部材によって塩分偏差の挙動が異なっており、距離が近づくに従い、ステンレスは正、アルミニウム・塩ビは負の偏差で発散する傾向にあること（配置に関係なく）、チタンは当該部材の中で偏差が最小であるものの、配置によってその挙動が異なること等、非常に興味深い結果を得た（非金属である塩ビでもセンサー感度が触れることがちょっと意外であった）。

(a)



(b)

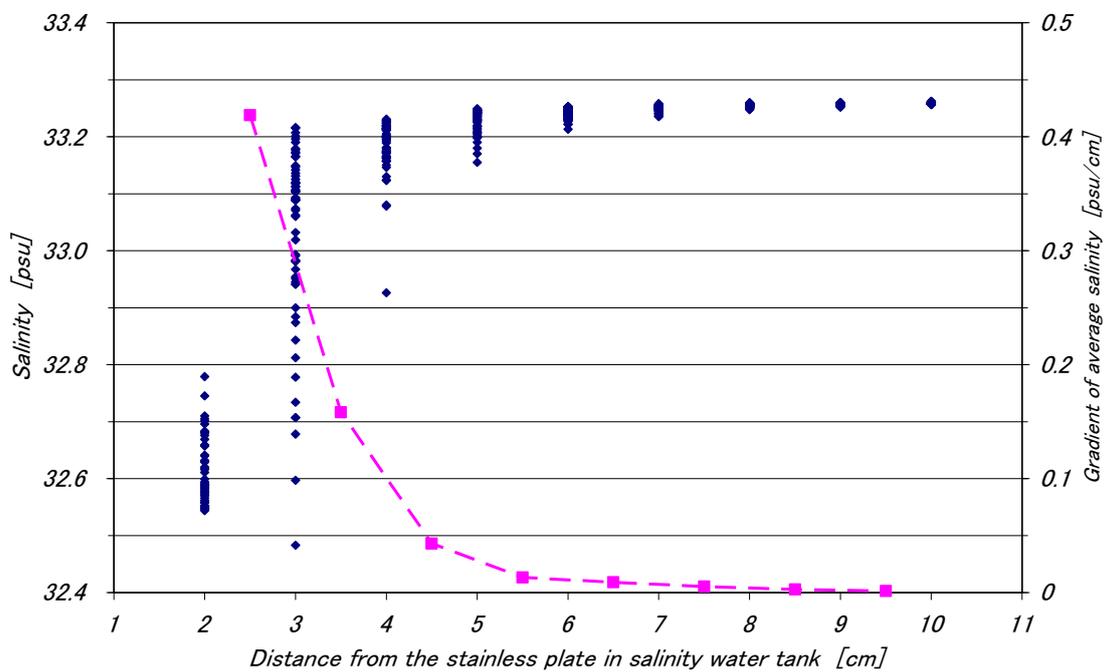
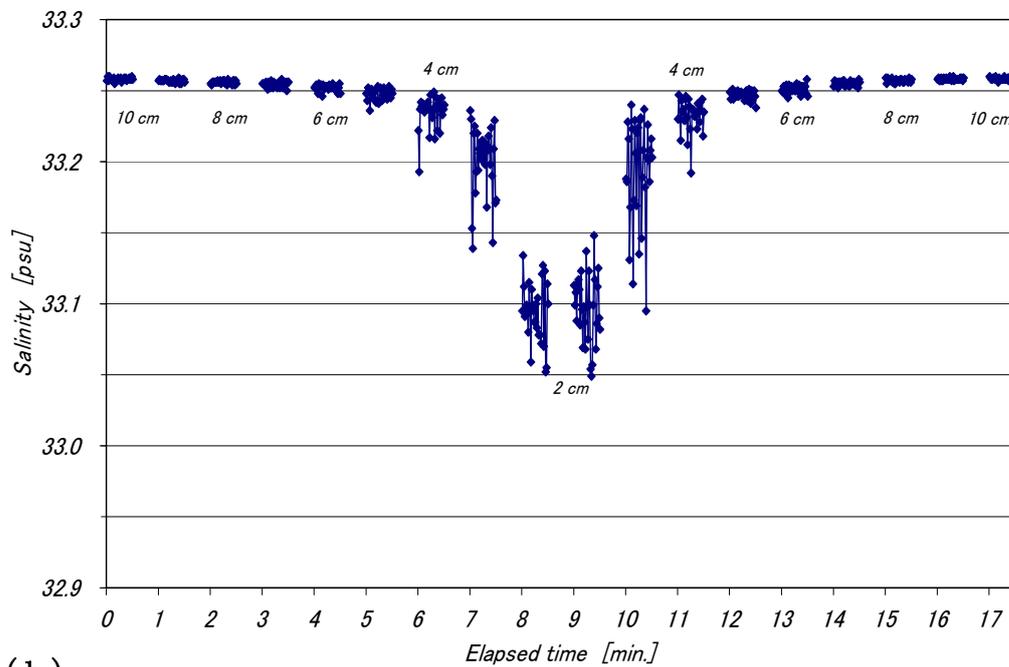


図10. アルミニウム面に対して塩分計を【正面向き】に配置した時の、(a) 塩分変動の時系列特性 (同地点で30秒間測定後、1cmずつ水平移動させている。「2cm」は最近接)、(b) アルミニウム面と電気伝導度センサー間距離に対する塩分変動 (◆) と塩分変化率 (■)、同図(a)で示したデータを横軸「距離」で集約している。

(a)



(b)

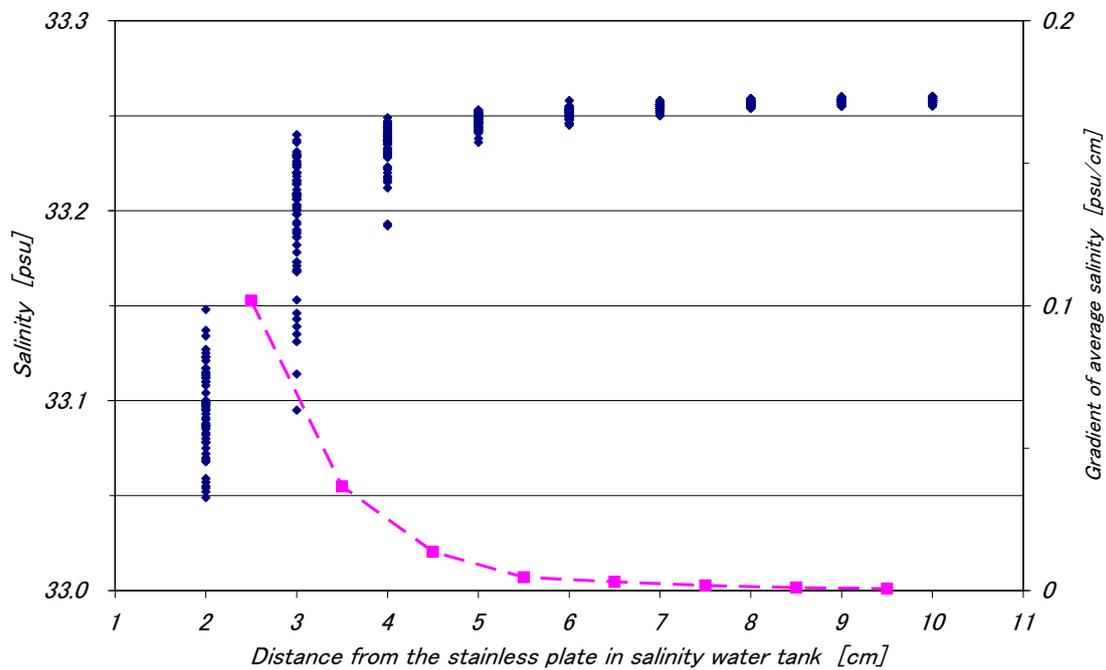
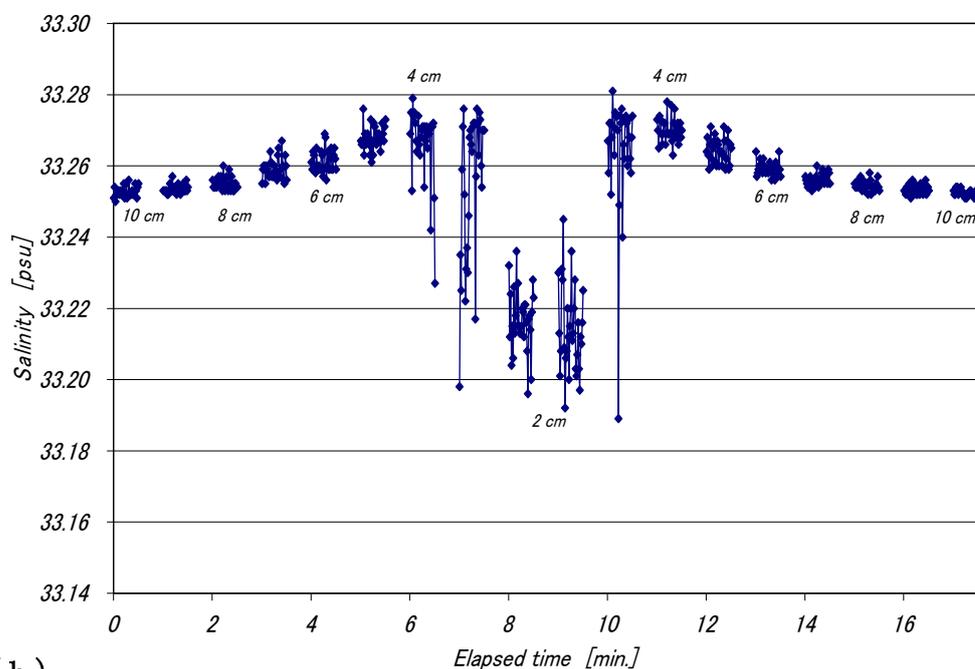


図 1 1. アルミニウム面に対して塩分計を【横向き】に配置した時の、(a) 塩分変動の時系列特性 (同地点で 30 秒間測定後、1cm ずつ水平移動させている。「2cm」は最近接)、(b) アルミニウム面と電気伝導度センサー間距離に対する塩分変動 (◆) と塩分変化率 (■)、同図 (a) で示したデータを横軸「距離」で集約している。

(a)



(b)

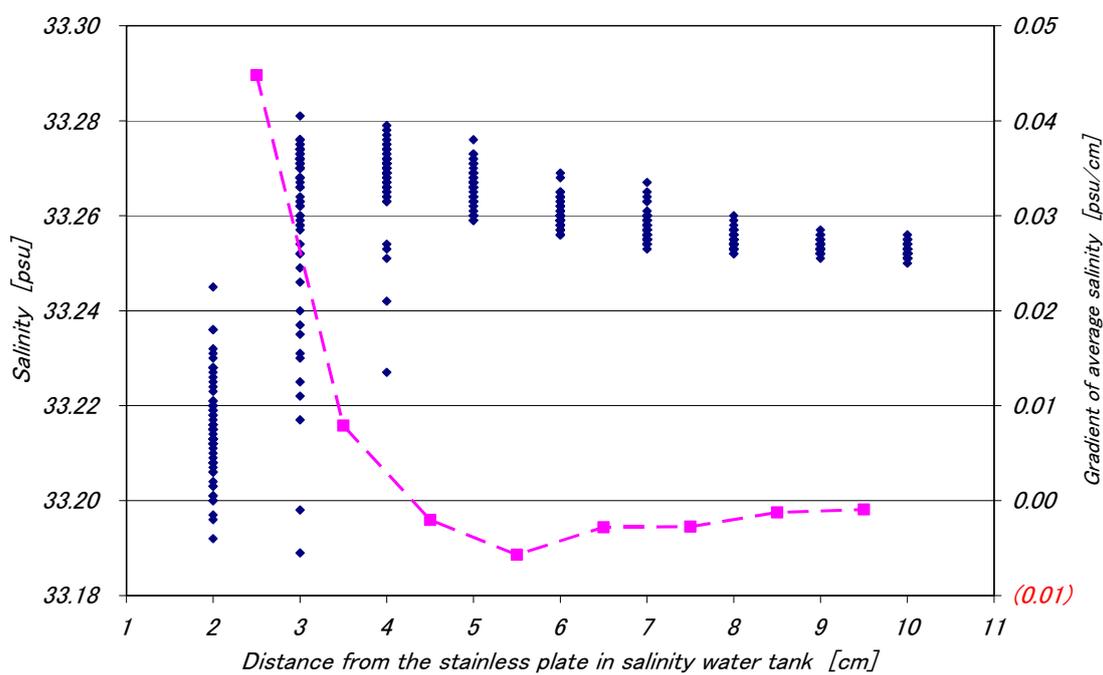


図 1 2. チタン面に対して塩分計を【正面向き】に配置した時の、(a) 塩分変動の時系列特性 (同地点で 30 秒間測定後、1cm ずつ水平移動させている。「2cm」は最近接)、(b) チタン面と電気伝導度センサー間距離に対する塩分変動 (◆) と塩分変化率 (■)、同図 (a) で示したデータを横軸「距離」で集約している。

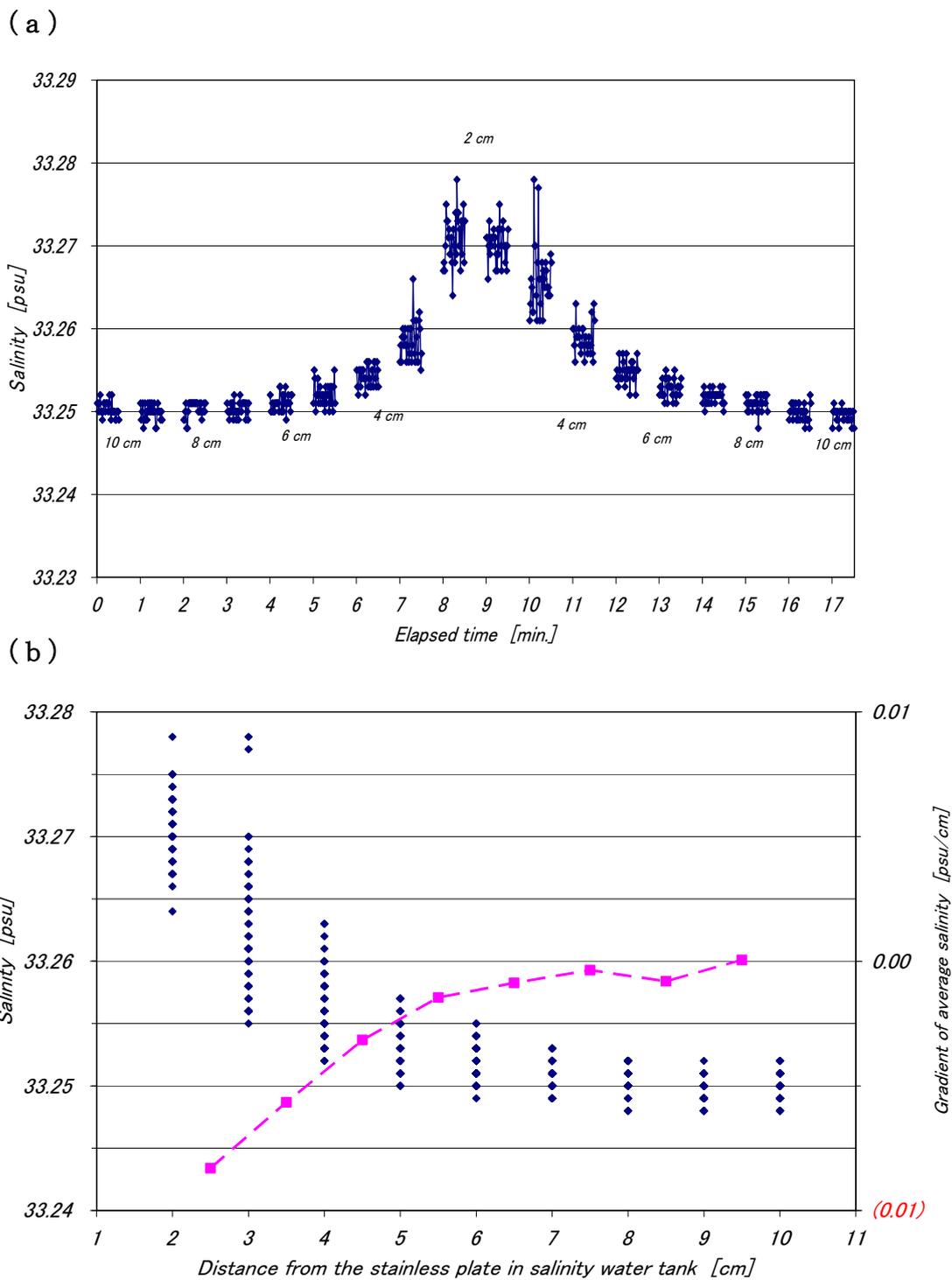


図 13. チタン面に対して塩分計を【横向き】に配置した時の、(a) 塩分変動の時系列特性 (同地点で 30 秒間測定後、1cm ずつ水平移動させている。「2cm」は最近接)、(b) チタン面と電気伝導度センサー間距離に対する塩分変動(◆)と塩分変化率(■)、同図 (a) で示したデータを横軸「距離」で集約している。

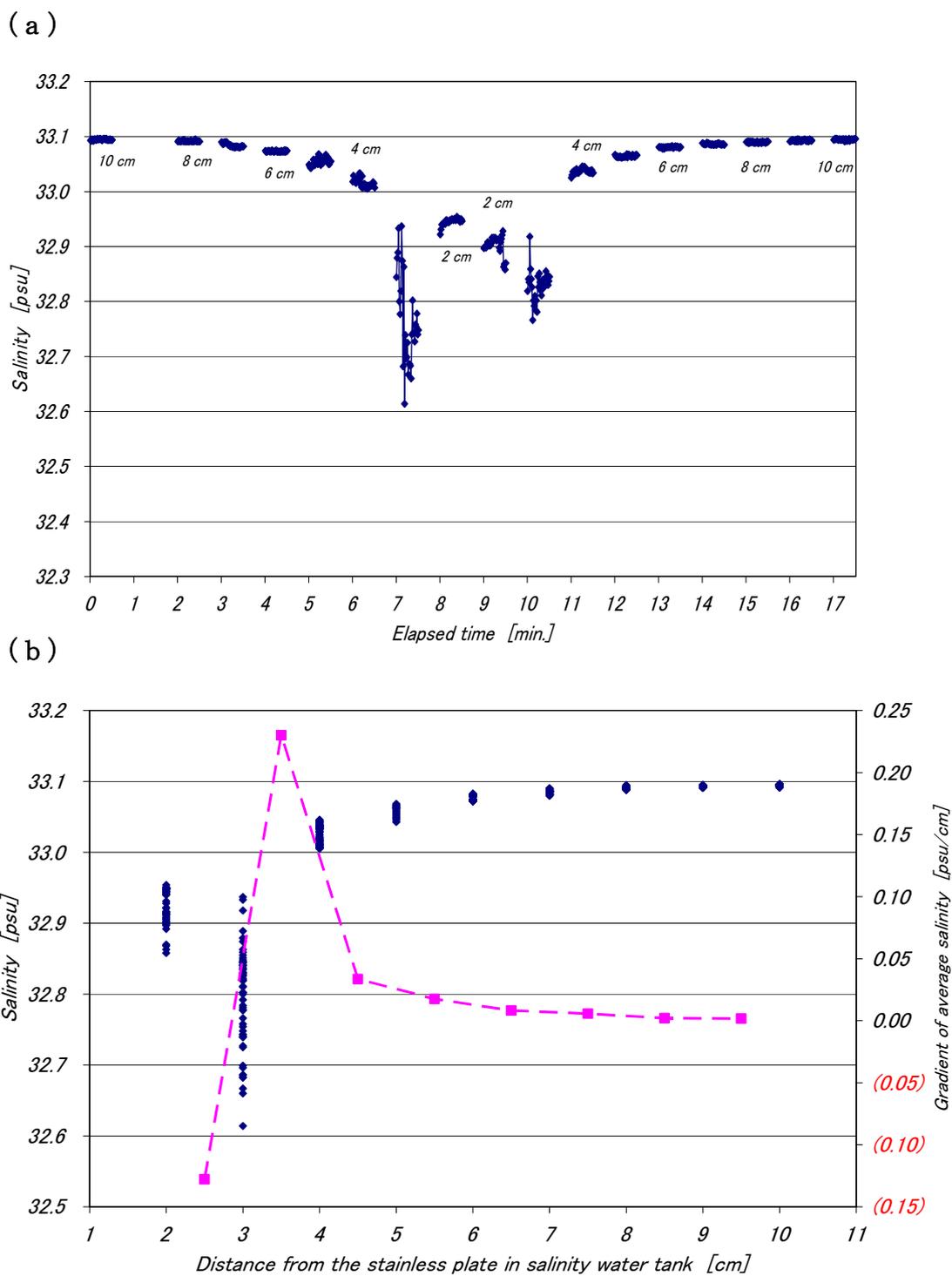


図 1 4. 塩ビ面に対して塩分計を【正面向き】に配置した時の、(a) 塩分変動の時系列特性 (同地点で 30 秒間測定後、1cm ずつ水平移動させている。「2cm」は最近接)、(b) 塩ビ面と電気伝導度センサー間距離に対する塩分変動 (◆) と塩分変化率 (■)、同図 (a) で示したデータを横軸「距離」で集約している。

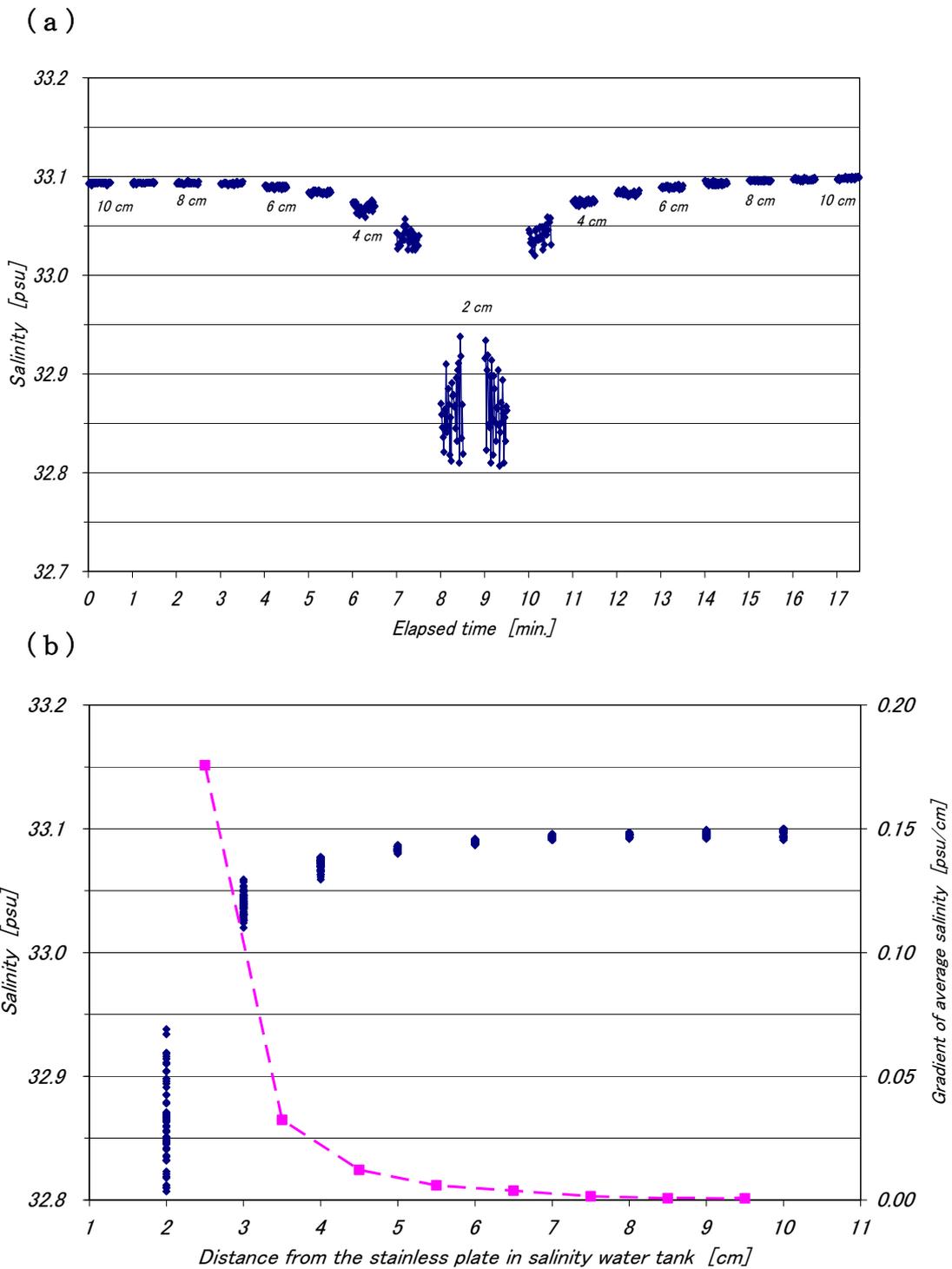


図 15. 塩ビ面に対して塩分計を【横向き】に配置した時の、(a) 塩分変動の時系列特性 (同地点で 30 秒間測定後、1cm ずつ水平移動させている。「2cm」は最近接)、(b) 塩ビ面と電気伝導度センサー間距離に対する塩分変動 (◆) と塩分変化率 (■)、同図 (a) で示したデータを横軸「距離」で集約している。

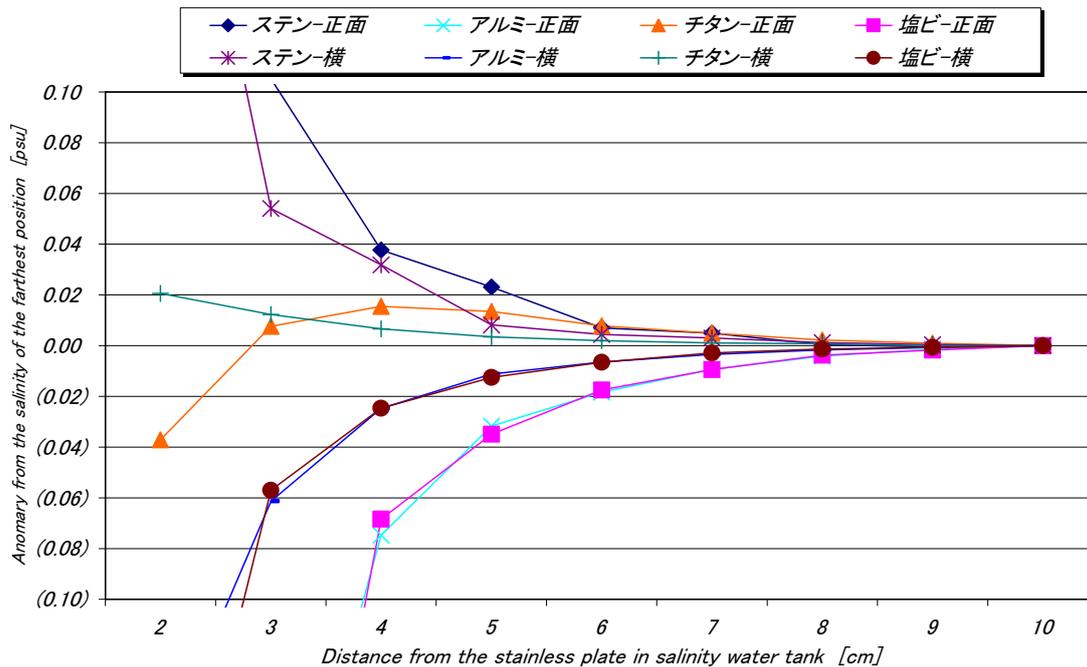


図 16. 対象部材面と電気伝導度センサー間距離に対する配置時の塩分特性

5. おわりに

本実験により、金属・非金属部材に対する電気伝導度センサーの感度特性を把握することが出来た。その中で、対象部材と電気伝導度センサーの距離と配置関係によっては、計測した電気伝導度から算出される塩分に差異が生じること、配置に関係なく対象部材によって塩分偏差の挙動が異なることが判明した。

これらの結果に基づき、塩分計測値に悪影響を及ぼさないよう小型塩分計を漂流ブイのステンレス外筐部に装着するためには、ステンレス面と塩分計の電気伝導度センサー中心部の距離が 6cm 以上離れて、尚且つ両者の配置関係が「横向き」になるように接続するのが望ましいと考え、ブイと塩分計の接続治具を設計・製作した。本稿が、今後の参考資料になれば幸いである。

謝辞

本実験を行なうにあたり大変お世話になりました、アレック電子株式会社・川澄敏治氏に感謝の意を表します。また、漂流ブイへの小型塩分計装着用冶具の製作時には、貴重なご意見とご支援を頂戴しました、九州大学応用力学研究所工作室・牛原武司氏、本稿の文章校正を快く引き受けて頂きました、野外計測分野・柳哲雄教授の両名に厚く御礼申し上げます。

なお本稿は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金（奨励研究）「海洋における表層流動場の収束・発散構造解明に向けた観測環境構築」（課題番号：18922001）の一部であることを付記する。

参考文献

石井大輔, 柳哲雄 (2006) : 対馬海峡東水道における漂流ブイ観測. ワークショップ「東アジア海洋・大気環境激変の監視と予測」要旨集, 21-22.

石井大輔, 柳哲雄, 吉川裕, 増田章 (2006) : 対馬海峡の表層収束・発散場. 応用力学研究所共同研究集会「沿岸海域の低次栄養段階をめぐる物質循環」要旨集, 6-7.

石井大輔, 柳哲雄, 吉川裕, 増田章 (2007) : 漂流ブイと海洋レーダーを用いた対馬海峡における表層収束・発散場の評価. 海の研究, 16(3), 237-251.

Matsuno, T., J.-S. Lee, M. Shimizu, and S.-H. Kim (2006) : Measurements of the turbulent energy dissipation rate ε and an evaluation of the dispersion process of the Changjiang Diluted Water in the East China Sea. *J. Geophys. Res.*, 111, C11S09, doi:10.1029/2005JC003196.

Michida, Y., R. Takimoto, P. Sojisuorn, and T. Yanagi (2006) : Divergence/convergence field observed with GPS tracked drifters in the Upper Gulf of Thailand. *Coastal Marine Science*, 30(1), 27-35.

柳哲雄, 石井大輔, 屋良由美子, 日向博文, 石坂丞二 (投稿中) : 筑後川河口における低塩分・高 chl. a 水の挙動. 海の研究