

①共同利用乱流観測機器の研修および検査および ②高速水温計を用いた鉛直混合評価手法および広域分布に関 わる国際共同研究の構築

東京大学大気海洋研究所 安田一郎・田中雄大・長澤真樹

1. 要旨

2016年1月20日から27日に、カナダビクトリアの Rockland Scientific 社 (RSI 社) 及びオレゴン州立大学を訪問し、①の本技術研修では、共同利用機器として来年度から新しく運用する次の2つの乱流観測機器について取扱い・メンテナンスやデータ解析手法を現地での実習を通して習得する。1) 現在修理および改良を行っている RSI 社製の超深海乱流計 VMP5500 の組み立て・分解・機器との通信などのオペレーションを、現地の船舶 Strickland 船上で実習するとともに、機器の検査を行い、問題の無いことを確認した。2) 本新学術予算により RSI 社で新しく開発中の CTD 取り付け型水温微細構造測定装置について、制作過程を検討した。現時点では、耐圧容器等が完成し、納品までに十分に間に合うことを確認した。また、3) 鶴見精機の 4000m まで測定可能な Deep Ninja フロートに、RSI 社のシアプローブおよび高速水温計を取り付けて、フロート型超深海乱流計を新しく共同開発する件で、RSI 社のファビアン社長と打ち合わせをすることができ、4月には RSI 社から Peter Stern 氏が来日し製作を開始し、8月に予定されている AORI の航海で実海域試験を行う予定で、RSI・鶴見精機・AORI の3者で開発を進めることが同意された。②では、高速水温計を CTD に取り付け、大洋横断繰り返し観測を実施してきた、オレゴン州立大のモーム教授とナッシュ准教授と研究手法について情報交換を行うとともに、共同でのデータ解析・国際共同研究の可能性について打ち合わせをおこなった。2月の Ocean Science Meetingにおいて、オレゴン州立大の Andy Pickering 博士と Nash 教授とで2回目の会合を持つことが合意された。さらに、オレゴン州立大で多数のグライダーを運用しているバース教授および Pat Welch 博士と会合を持ち、グライダー搭載 ADCP 観測の実用化に向

けた共同研究を進めてゆくことで合意した。

2. 研究の背景

VMP5500 は乱流計として現在最高性能を誇る観測機器であり、日本に2台、世界でも数台しかない装置である。本新学術では、過去に破損した機器を修復して共同利用機器として改良された機器を使用するため、大気海洋研の技術職員であり乱流計の専門家である長澤他、共有機器を担当する安田・田中・後藤で製作者である RSI 社を訪問し、実海域で、投入・回収・現場データの回収等一連のオペレーションを行うとともに、メンテナンスやデータ処理について習得した。

オレゴン州立大学では、多数のグライダーを運用しているバース教授の研究グループと1年前からグライダー ADCP に関して共同研究を行っている田中雄大博士と Pat Welch 博士を交えて今後の共同研究を進めることで同意した。

後藤・長澤・安田は、高速水温計乱流計を CTD フレームに取り付けて鉛直混合強度を測定する手法の開発に取り組んできた。自由落下型の乱流計観測で同時に測定された流速シア観測との比較によって、高速水温計の観測データは適切な補正 (ダブルポール型補正、時定数 3m 秒) をすることで、流速シアからの見積もりと同程度の精度で観測できる (Goto, Yasuda and Nagasawa, 2015 投稿中)。また、自由落下型観測から2時間以内に取得された CTD 取り付け型の観測から、降下速度 W の変動が大きい、 $(dW/dz)/W > 0.3$ のデータを除くことで、妥当な観測データが得られること、鉛直混合強度が大きいとき、過小評価となること等 (Goto, Yasuda and Nagasawa, 2015 投稿中) を明らかにしている。

4. 成果

4.1.VMP5500の実海域試験とデータ処理



調査船 Strickland に乗船し、VMP5500 の実海域試験を行った（図上）。冷たい雨の中に試験となり、体力を相当に消耗する試験であった。落下速度が 0.6m/s 前後になるように錘を調節しながら、4キャスト試験投入・回収を行った。そのうち2回は、実際におもりを切り離し浮上を確認した。特に、最後のキャストでは、圧力（105dbar）で切り離しをかけ、その結果、105dbar で切り離しがかかった後、慣性で 130dbar まで到達した後、上昇に転じた。

さらに詳しい解説は、添付資料に示す。

Peter から聞いた重要事項：リリース用の充電池は、1-2年毎に交換する必要がある。必ずフル充電になっている必要がある。6V、1.3-1.4 パナソニックでも扱っている。

回転部は、ステンステープを外して、その下の UHMW-PE ポリエステリンテープを外して、良く洗うこと。組み立てる時は、それらのテープを貼り、緑色のグリス（Aqua Shield）を良く塗って、動きを良くすること。

リリースの燃焼部は、標準のものは、24時間で溶けるようになっているが、2.5-6時間で溶けるもの（AA1）もある。それらも用意しておき、早めに浮上するようにしておくことも工夫のひとつ。

スペアパーツとして、Oリングとリリースケーブルを用意しておく必要がある。

データ解析では、新しくリリースされる MatLab ルーチンを用いた解析手法について、Emma Murowinski による講習を受けた。新しいルー

チンを使うためには、MatLab2014b 以降が必要。これについての資料も別添で示す。

ビーコンとフラッシャーは、本体上部の穴に差し込む形で行うが、現在無い。ビーコンには、イリジウムビーコンがあり、位置がわかるので、それを推奨された。

錘の仕様についても、情報を得た。また、AORI 現所有で現在 0.75m/s で降下する VMP500 には、4-6kg の錘をつけると 1m/s で降下するという見積もりを得た。

4.2. RSI 社での微細構造センサ製作

RSI 社での微細構造センサを製作しているのは、日本企業で外国で営業していた安田しろうというおそらく60歳すぎの方だった。元々理系だったということであるが、退職して2年間電子工学を勉強し、4年前から RSI 社でプローブ製作を担当しているということであった。

シアプローブは、曲がると電流が流れるセラミック板を用いて、乱流による微小運動を測定する。まず、この小さい幅2ミリ・長さ5ミリくらいのセラミック板をアルコールに浸して、2週間？位おき、ゴミや汚れを落とすところから始まる。その後、切れ目の入ったプラスチックホルダにセラミック板を挿入し、これをプローブホルダに先端から挿入し、プローブホルダの後ろ側から、エポキシを流し込み、熱して固める。先端部をシリコンで固める。プローブホルダの後ろ部分に、コネクタ部を取り付ける。圧力試験を行う圧力窯（手で圧力をかける小さい装置）に入れて、1000dbar かけて1時間（その間にショートしたり断線したりするものを除く）、さらに 6000dbar をかけて1時間、もてば合格とする。コンデンサを測定すれば判定できる。1ロット12本の中で、1000dbar で1本、6000dbar でさらに1本ダメになるのが通例。プローブを、ストローで整流された流れに対して、プローブの角度をいくつか変えながら 1Hz を回転させて、電圧出力をモニタし、感度を計算する。1ロットつくるのに、約2週間半かかる。

高速水温計 FPO7 は、市販の電線付きの素子（先

端 2 mm 位) から始まる。白プラスチック筒に素子を通し、先端部にエポキシを入れて、ガラス部分を補強する。この時点で、先端にエポキシがかかったりしてダメになるものが出る。その後プローブホルダーに挿入し、後ろからエポキシを入れて、加熱し固める。その後コネクタ部取り付け。シアプローブと同様の圧力試験を行い、抵抗を測ることで、ダメなプローブを除く。

これら製作過程は、分厚いマニュアルがあるが、秘密事項とのこと。

4. 3. オレゴン州立大、Moum 教授・Nash 教授

Moum 教授は、乱流計を自ら製作し、1980 年代に初期の乱流計観測を実行した乱流観測の専門家である。Moum and Nash (2009)で χ ポッドという係留系に取り付けて連続観測する高速水温計による乱流観測装置を開発し、1) 応答が早い安定性に欠ける熱電対と安定性があるが応答が遅い FPO7 を、湖の同時観測によって FPO7 時定数を決定し、係留系のデータを補正している。2) Batchelor(1959)で示された、より周波数・波数の小さい慣性領域で理論スペクトルと観測データを合わせることによって、温度消散率を求める手法 (Zhang and Moum 2010)。3) Oakey (1982)によって初めて用いられた、Batchelor(1959)スペクトルに観測データを当てはめて、乱流エネルギー散逸率 ε と温度消散率 χ を求める方法、の3つが、FPO7 高速水温計からのデータで乱流強度の見積もりで用いられる手法である。我々の手法は、3) に属し、Nash 教授らがリピートハイドログラフィーで使っているのは、1の手法であり χ から ε を求める手法であり、今後両者の同じデータに対する比較を行ってゆくことなどに意味があることが同意された。2月の OSM 時に会合を持ち、実際のデータを見せ合うことで、今後の展開を図る。

4. 4. オレゴン州立大、Barth 教授・Pat Welch 博士

今後の展開を図る。2015 年 1 月に AORI の田中雄大博士が同所を約 1 か月訪問し、ロシア海域のグライダー ADCP データの処理について検討を行った。その後の経過を報告し、グライダー ADCP に様々な問題、

特に、'Runaway Shear'と呼ばれる一定値のシアのバイアスが加わってしまう問題は、今後除くべき重要な課題であるとの認識で一致した。KH-15-4 航海でのグライダー観測では、ボトムトラックデータが取得されており、このデータを用いて、ビームの取り付け角度のバイアス補正などを可能にするための共同研究を進めることで合意した。

5. 謝辞

総括班事務の小林さん、日比野さん、海洋大循環分野の福村さんには、旅行に際して大変お世話になりました。

6. 引用文献

1. Y. Goto, I. Yasuda and M. Nagasawa (2015): Turbulence estimation using fast-response thermistors attached to a free-fall vertical microstructure profiler. Journal of Atmosphere and Ocean Technology, submitted on Oct. 25, 2015.
2. Y. Goto, I. Yasuda and M. Nagasawa (2015): Availability of turbulence measurements using a microstructure profiler attached to a CTD frame. Jan. 18, 2016 submitted to Journal of Atmosphere and Ocean Technology
3. J. N. MOUM AND J. D. NASH (2009): Mixing Measurements on an Equatorial Ocean Mooring. Journal of Atmosphere and Ocean Technology, 26, 317-336.
4. Y. Zhang, and J. Moum (2010): Inertial- Convective Subrange Estimates of Thermal Variance Dissipation. Journal of Atmosphere and Ocean Technology, 27, 1950-1959.
5. James N. Moum, Alexander Perlin, Jonathan D. Nash & Michael J. McPhaden (2013): Seasonal sea surface cooling in the equatorial Pacific cold tongue controlled by ocean mixing. Nature, 500, 64-67.