

## 表層流計測用の漂流／係留ブイの製作について

油布, 圭  
九州大学応用力学研究所技術室

<https://doi.org/10.15017/1786644>

---

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． 15, pp.79-85, 2014-03. 九州大学応用力学  
研究所  
バージョン：  
権利関係：

# 表層流計測用の漂流／係留ブイの製作について

油布 圭

## 要旨

海洋の表層における物理現象を計測するために、ADCP（超音波ドップラー式多層流向流速計）や小型水温計を垂下した漂流／係留観測用のブイ（以下 ADCP ブイ）を製作した。この ADCP ブイには、水深 2 m に水平計測式の ADCP（H-ADCP）2 台とそのバッテリー、水深 10 m に鉛直計測式の ADCP、水深 1 m 毎に小型水温計が取り付けられている。H-ADCP は本来固定設置用の計測器であるため、漂流観測や係留観測を行えるように、専用のフレームや浮体部分を設計・製作した。測器の姿勢や波による動揺が計測に大きく影響するので、設計においてそれらの低減を図った。製作した ADCP ブイは、造波装置付きの水槽において姿勢や動揺の程度を確認し、東シナ海と八代海において漂流観測、係留観測を行ったので、以下に紹介する。

## キーワード

表層流・ADCP・漂流ブイ・係留観測

### 1. はじめに

今回、製作した ADCP ブイの模式図を図 1 に示す。ADCP ブイは、全長約 12 m に及ぶ表層流計測用のブイである。海洋観測に用いるので、フレームなどの金属部分は全て SUS304 材料を使用している。昨年度にも同様の漂流ブイを製作したが（応用力学研究所技術職員技術レポート vol.14）、今年度は水平計測式の H-ADCP（Teledyne RD Instrument WorkHorse Horizontal ADCP 600 kHz）2 台とそのバッテリーケースを取り付けることとなった。H-ADCP とバッテリーケースの外観を写真 1、写真 2 に示す。測器の重量が増えたため、浮体部分も含めて新しいブイを製作した。H-ADCP は、元々、漂流観測用に作られていないため、観測では極力測器の揺れを抑えることが求められた。また、水中で水平方向を向くようにバランス調整が必要となった。

### 2. ADCP ブイの設計・製作

#### 2-1. 浮体部分

図 1 の最上部に示すのが、ADCP ブイの浮体部分である。この浮体部分には、主に下の計測器類が沈まないように支える役割がある。設計では、最初に、測器やフレームの水中総重量を求めて必要な浮力を見積もった。この段階では、浮体部分や H-ADCP のフレーム等は完成していないので、設計図から推定した重さで計算している。その結果、計測器類の重さが 35 kg、フレームやワイヤーなどの重さが 25 kg、浮体部分が 30 kg で合計約 90 kg（空中総重量は 120 kg）であっ

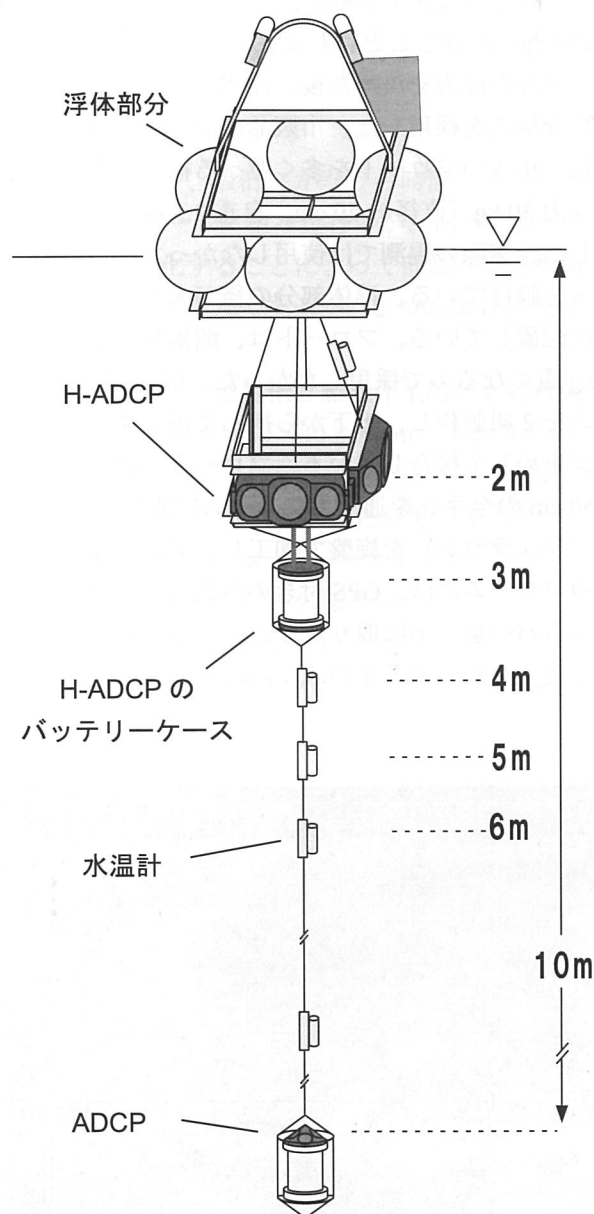


図 1 ADCP ブイの模式図

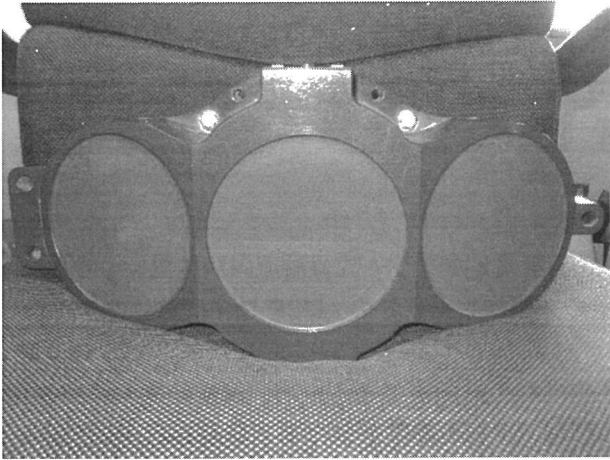


写真1 H-ADCP

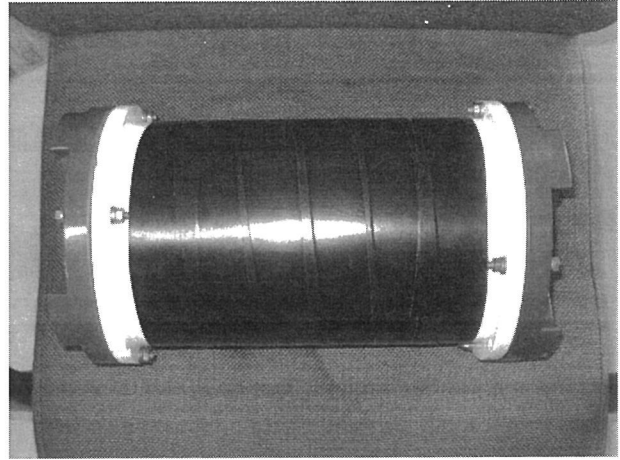


写真2 H-ADCPのバッテリーケース

た。浮力は大きすぎると、フロートや部品の数が増えて大きく（重く）なるので、水中総重量の2倍程度（約180 kg）設けることにした。

必要な浮力を決めた後、浮体部分の設計を行った。計測に影響しないように、浮体部分の喫水が小さく平らな構造を採用した。市販品のフロートは球形か俵型のものが多いため、それらを平面状に並べることにした。小さいフロートを多く並べる構造だと喫水部分を減らせるが、部品が増えてコストも上がることから、浮力30 kg（直径約40 cm、自重2.5 kg）の発泡剤フロート（気泡材研究所 M13）6個を円状に並べる構造にした。実際の観測では使用しなかったが、6個のフロートの中心部分は、GPS機能付きの測器を置くスペースを設けている。浮体部分の径が大きくなると、作業時に扱いづらいので、フロートは可能な限り中央寄りに配置している。フロートは、耐衝撃性や耐水深が高いプラスチック製のものもあったが、1個当たり約1 kg重くなるので採用しなかった。6個のフロートは、SUS304アングル（40×40×3 mm）で四角形のフレームを2組製作し、上下から挟んで固定することにした。なお、アングル同士は別の部品を用意し、90°にネジ止めて接合している。フロートには、直径40 mm程度の穴が開いているので、ここにφ12 mm、長さ50 cmの全ネジを通してフレームに固定した。ネジの径に対して、フロートの穴が大きすぎるため、樹脂（ジュラコン）を旋盤で加工し、アングルとフロートの間にラバーと一緒に挟みこんで固定している。下側のフレームには、GPS付きの測器の設置や測器を吊るすためのワイヤー取り付けのために、アングルとフラットバーを十字に取り付けた。当初、四角形のフレームは軽量化のため、六角形のフレームにする予定であった。また、ネジ止め式ではなく溶接による接合を行うつもりであった。しかし、溶接技術の習得途中であ

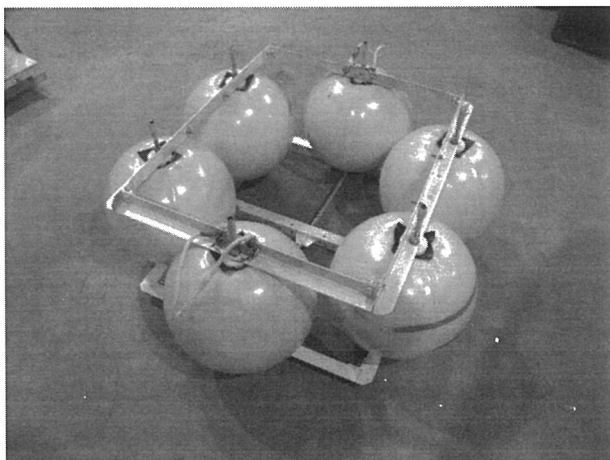


写真3 浮体部分

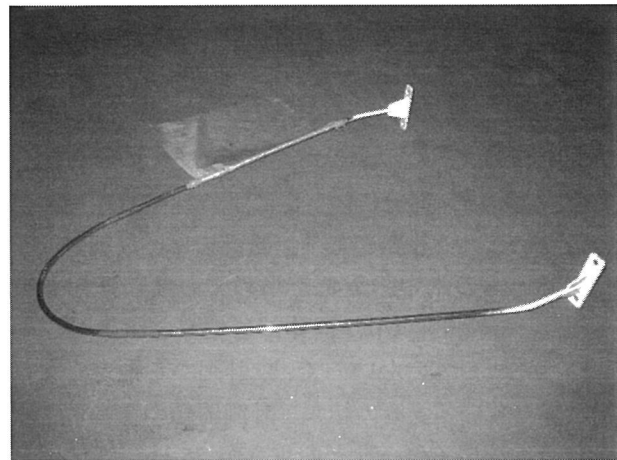


写真4 取っ手部分

ったことから、四角形にネジ止めする構造を採用した。そのため、六角形の構造に比べると、重量が数 kg 分大きくなっている。

フレームには運搬や回収作業用の取っ手（写真 4）を取り付けている。この取っ手部分は、観測時に標識灯や旗を取り付ける竿の役割も兼ねている。取っ手は、先端が高さ 1 m 程度になるように設計した。長さ 190 cm の丸棒（ $\phi 10$  mm）をバイス等でくの字型に曲げ加工し、フレームに取り付けている。丸棒の両端は、フラットバー（ $100 \times 30 \times 4$  mm）に溶接して、浮体部分のフレームにネジ止めできるようにした。取っ手部分は、運搬時に邪魔なので、直接フレームに溶接はしていない。補強のために、フラットバーと丸棒の間に、別のフラットバーを加工して溶接した。

## 2-2. H-ADCP のフレームとバッテリーケースのフレーム

H-ADCP のフレームの構造は、今回の設計において、苦慮した部分である。設計条件を以下に記す。

- ① H-ADCP 2 台を  $90^\circ$  の角度で設置する
- ② H-ADCP の近くにバッテリーケースを配置する
- ③ H-ADCP が水深 2 m 前後に位置する
- ④ 水中で各 H-ADCP を水平（より  $1-3^\circ$  程度下）に向ける
  - ▶ 測器が動揺してビーム（ビーム幅約  $2^\circ$ ）が水面で反射し、欠測になるのを抑えるため
- ⑤ H-ADCP のピッチ（縦揺れ）やロール（横揺れ）を抑える
  - ▶ 動揺が大きいとデータに影響するので、静止状態に近いのが望ましい

当初、これらの条件を可能な限り同時に満たすような構造が思い浮かばず、設計にかなりの時間を要した。H-ADCP には別にバッテリーケースがあるので、これを H-ADCP のフレームに組み込むのか、あるいは別のフレームを用意して吊り下げるのか悩んだ。前者は、フレームを一体化することによって部品や重量を減らせるが、バランス調整に工夫が必要である。後者は、部品が増えるのが欠点であるが、2 つの部分に分けるので扱いやすい。今回の設計では、後者を採用した。

H-ADCP のフレーム形状は、できるだけシンプルになるように心がけた。軽量化と船上作業時の負担軽減のためである。今回製作した H-ADCP のフレームを写真 5 に示す。アングル（ $40 \times 40 \times 3$  mm）を組み合わせることで、直方体の骨組みを作り、測器の左右をネジ止めすることにした。上面より底面を小さくして、2 台の測器が水平より数度（設計では  $3^\circ$ ）下を向くようにしている。 $90^\circ$  や  $3^\circ$  といった角度が求めやすかったため、直角部分と平面部分のあるアングルを用いている。製作において  $3^\circ$  といった角度は、フライスでアングルの決められた位置にネジ穴を開けることで求めた。ここでもアングルの接合は、全てネジ止め式にしてある。熱による変形や調整の難しさから、あえて溶接による接合はしていない。測器を固定する部分には、余計な振動の抑制と、アルミ製である測器の電食防止を考慮してゴムを貼っている。また、測器の

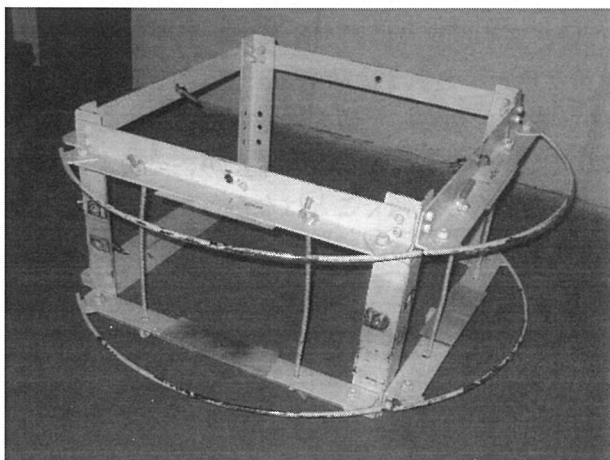


写真 5 H-ADCP のフレーム

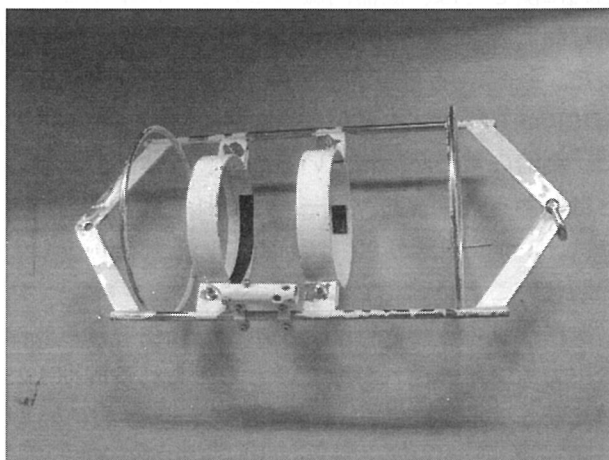


写真 6 バッテリーケースのフレーム

ネジ止め部分には、ジュラコンで製作したビスをはめて絶縁した。フレームの上部と下部には、測器を保護するためのバーを取り付けた。直径 6 mm の丸棒を切断し、3cm 角のフラットバーを溶接して、フレームにネジ止めできるようにした。バッテリーケースのフレームはケースの筐体部分が、円筒状の ADCP と同じであるため、過去に技術補佐員の丸林氏が製作したものを使用させてもらった。バッテリーケースのフレームを写真 6 に示す。

H-ADCP のフレームは、浮体下部の中央から広げるように 4 本のワイヤーロープ ( $\phi 4$  mm) で吊るした (図 1)。これにより、波による浮体部分の動揺が測器に影響を与えるのを抑えている。また、バッテリーケースを H-ADCP フレームから 2 本のワイヤーで垂下することでも、重みによる動揺の低減を図った。浮体下部のワイヤーは 4 本とも同じ長さで製作し、H-ADCP が水深 2 m に位置するように調整した。

### 2-3. 水温計容器

水温計の容器は、昨年度にも似たようなものを製作している。今回の観測では、水深 1m 毎の計測となり数が増えたので、数個分新たに製作した。水温計 (JFE アドバンテック MDS-MkV) は人差し指程度の大きさであるが、そのままではワイヤーに取り付けづらいため、パイプ ( $100 \times \phi 25 \times 2.5$  mm) を加工して、専用の容器を製作した。この容器は水温計を衝撃から保護する役割も兼ねている。製作した水温計容器を写真 7 に示す。パイプの横には、ワイヤーに取り付けるためのフラットバー ( $130 \times 30 \times 4$  mm) を溶接した。当初、両端の穴にシャックルを通して吊るす予定であったが、用意するワイヤーやシャックルの数が増えて面倒なことから、写真 7 にあるように、ワイヤークリップワイヤー固定する方式に変更した。

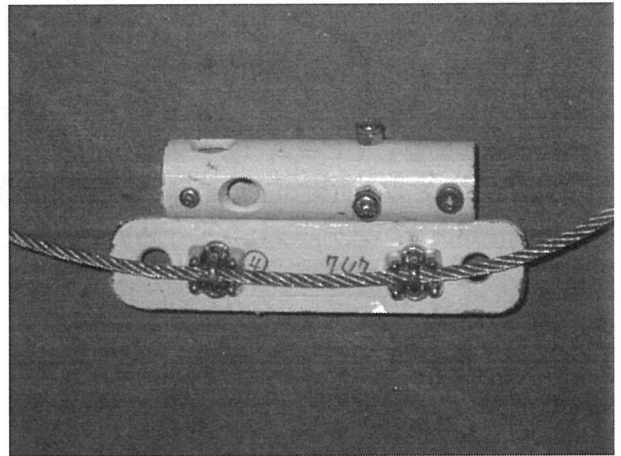


写真 7 水温計容器

### 3. 水槽実験

ADCP ブイ製作後、観測で使用する前に、水槽にて水中の H-ADCP の姿勢や波を起こした際の動揺の程度を確認した。確認作業は、九州大学応用力学研究所の深海機器力学実験水槽で行った。この水槽は、長さ 65 m、幅 5 m、水深が 7 m であり、プランジャー式の造波装置が設置されている。ADCP ブイの全長は 12 m 近くあるので、H-ADCP より下の部分は残りの部分の重量と同等の錘 (20 kg) を吊るした。測器の姿勢や揺れに関しては、測器内蔵のセンサーによりピッチ (縦揺れ) とロール (横揺れ) を調べた。また、この作業は測器と PC をケーブルでつないでリアルタイム観測を行い、ブイは定点に固定せずにフリーな状態で行った。試験の様子を写真 8 に、静水中での H-ADCP のピッチとロールを図 2 に示す。図 2 より、2 台の H-ADCP がそれぞれ水平から約  $2.5^\circ$ 、約  $3.8^\circ$  下に向いており、設計で想定した傾きに近いことが確認できた。測器の重心が偏っているため、浮体部分が傾いて測器の姿勢が崩れることを危惧したが、そのようなことはなかった。また、ロールはそれぞれ  $-1^\circ$  と  $+1^\circ$  で、こちらも大きく傾くことはなかった。因みに、これは、2 つの測器が  $90^\circ$  で接している部分が少し下に傾いている状態である。測器の姿勢に関しては、特に問題ないことが確認できた。

次に揺れの確認を行った。水槽で発生できる波は、海の波よりも周期が短く波高の低いものであるが、その中でもブイの揺れが激しいと考えられる周期 1.25 秒の波 (半波長がブイの直径 1.25 m に近い) を選び、波高を 5-20 cm まで 5 cm ずつ変化させた (20 cm 以上は造波装置への負担が大きい)。図 3 に、上記の条件で波を起こした際のピッチとロールの変化を示す。波高が最も大きい 20 cm の場合でも、ピッチとロールは  $\pm 3^\circ$  以内に収まった。また、周期を倍の 2.5 秒にして同様にテストしたが、周期 1.25 秒の場合と同程度の



揺れであった(図4)。他にも、同条件の波で H-ADCP の吊り方(浮体から平行に吊るすなど)を変えてテストしたが、図1のように浮体下部の中央からワイヤーを広げるような吊り方が最も揺れが小さかった。テストの結果、傾きや揺れが数度以内に収まったので、観測においても、大きな変更は加えずに使用することにした。

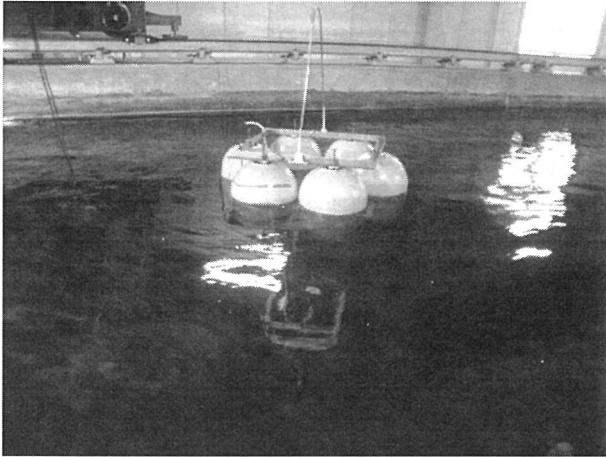


写真8 水槽での試験の様子

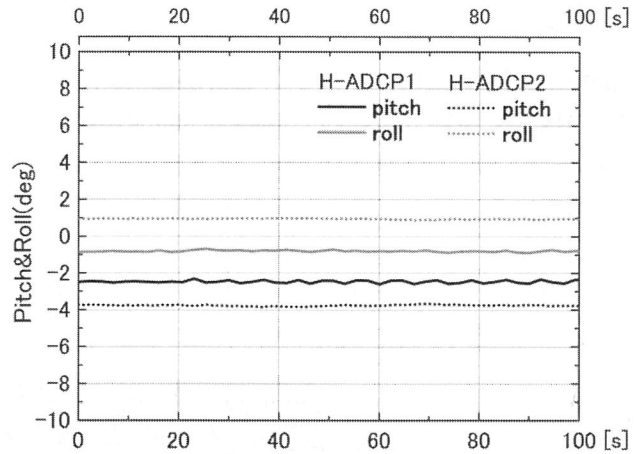


図2 静水中での H-ADCP のピッチとロール

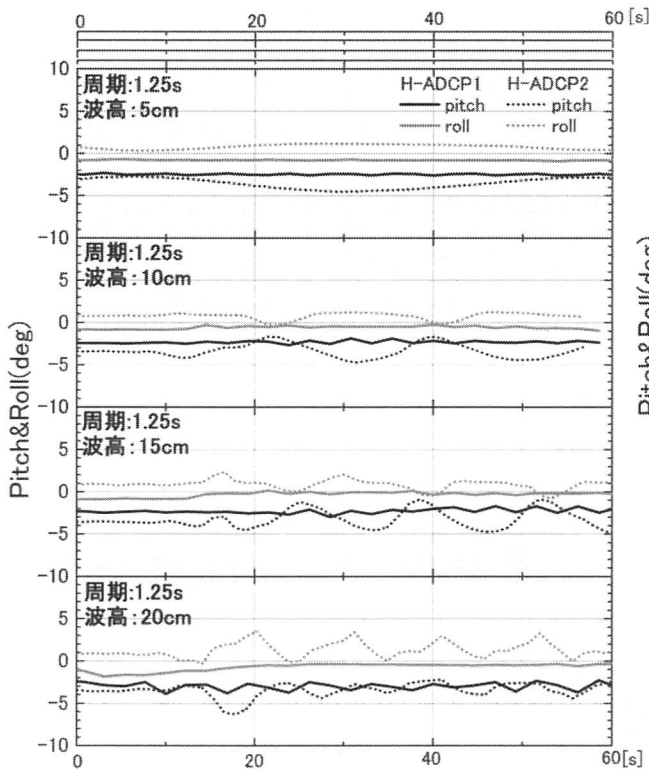


図3 周期 1.25s で波高を変えたときの H-ADCP のピッチとロール

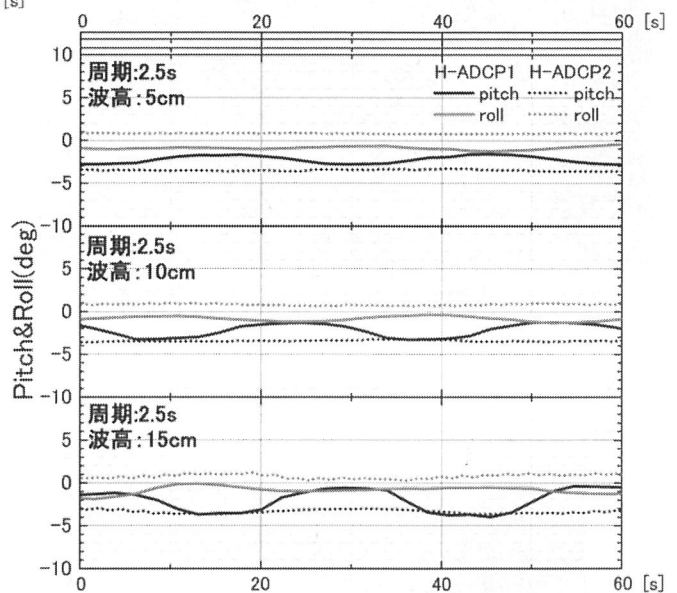


図4 周期 2.5s で波高を変えたときの H-ADCP のピッチとロール

#### 4. 航海観測

今回製作した ADCP ブイは、2013年7月に東シナ海で実施した長崎丸(長崎大学の漁業練習船)での航海観測と、8月に八代海で実施したしらふじ丸(水産総合研究センターの漁業調査船)での航海観測において使用した。船上での組み立てや海での使用は、初めてだったので不安だったが、無事観測を実施できた。

長崎丸の観測では、他の漂流ブイと結んで、漂流観測を行った。長崎丸における ADCP ブイ放流の様子を写真 9 に示す。放流後、荒天となったため観測は 1 日で終了し、回収作業を行った。激しい揺れによるフレーム等の損傷を危惧したが、回収後の確認で破損等は見つからなかった。H-ADCP のピッチとロールのデータを確認したところ、平均で  $\pm 10^\circ$  程度、最大で  $\pm 20\text{--}30^\circ$  の動揺が発生していた。荒天の影響も大きい、実際の海での観測の難しさを実感した。図 5 に東シナ海での観測における H-ADCP のピッチとロールのデータを示す。

八代海で行った観測では、他の観測との調整や漁業への影響を考慮し、係留観測を行った。上記の長崎丸航海からの連続航海であったので、ADCP ブイに関して大きな修正等を行っていない。八代海における係留観測の様子を写真 10 に示す。水深約 30m の場所に、約 100kg の錘を沈めて 2 日間係留した。係留用のロープ 90 m は、浮体部分に取り付けており、水中に引き込まれないように、緩衝用のフロート（写真奥）を間に挟んでいる。元々、穏やかな海域であり、観測期間中も風の状態が続いた。図 6 に八代海での観測における H-ADCP のピッチとロールのデータを示す。2 台の H-ADCP どちらも、ピッチとロールが  $\pm 5^\circ$  の範囲内に収まった。天候や海域の影響が大きい、測器の動揺はかなり小さかった。

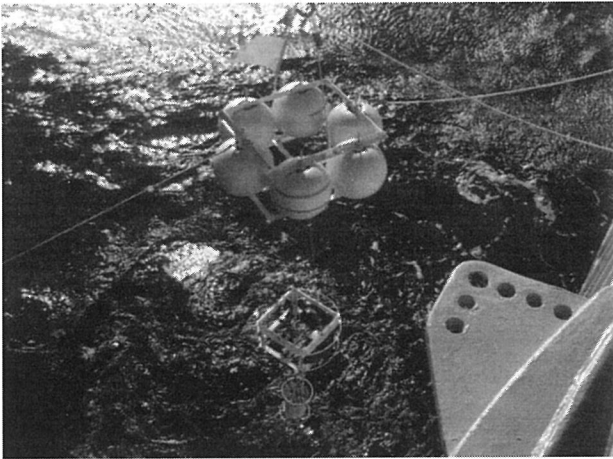


写真 9 長崎丸での ADCP ブイ放流の様子



写真 10 八代海での係留観測

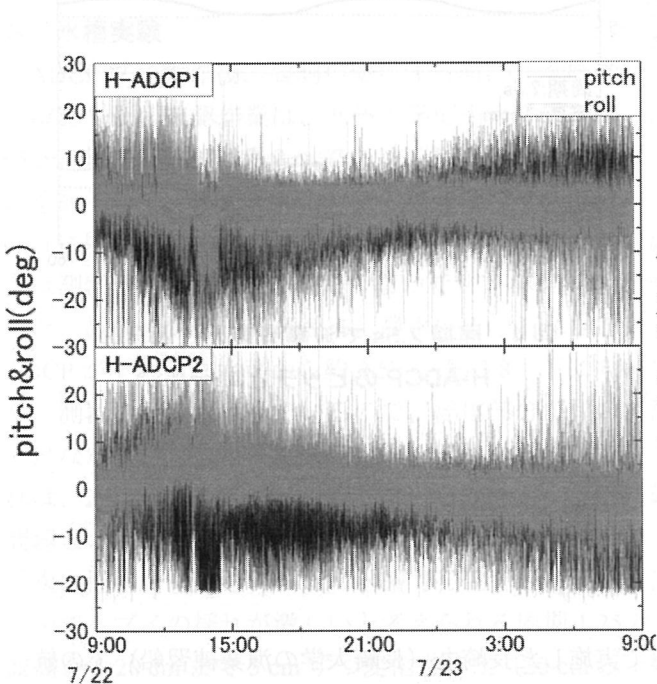


図 5 東シナ海での観測における H-ADCP のピッチとロール

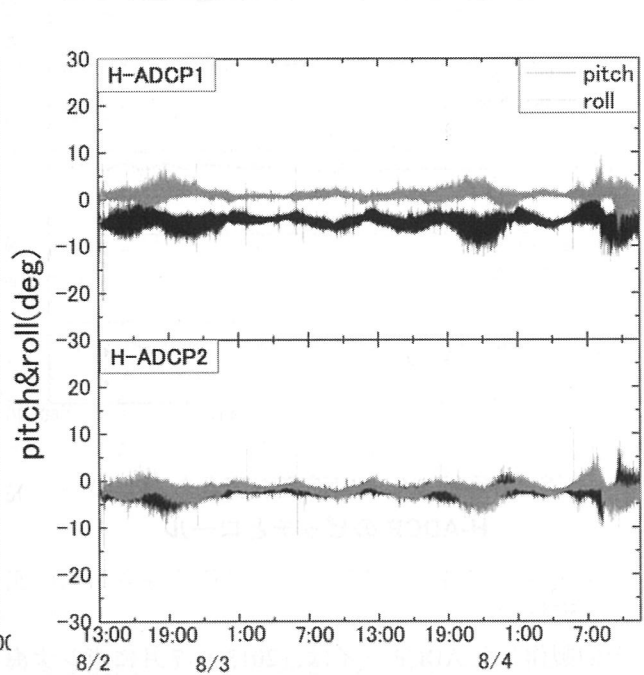


図 6 八代海での観測における H-ADCP のピッチとロール

## 5. おわりに

昨年度にも ADCP を垂下した漂流ブイを製作したが、今回は H-ADCP 2 台やそのバッテリーを取り付けたため、構造や軽量化の点で苦慮した。ADCP ブイの製作当時は、溶接技術の習得途中であったため、ネジ止め式による接合を多用してしまった。また、材料選びの未熟さや強度に対する不安から、必要以上に厚みや幅のあるものを選んでしまった。フレームなどに用いたアングルは、もう少し幅の狭いものでもよかったと感じている。水温計容器のパイプやフラットバーも同様である。そのため、空中総重量が約 120 kg と少し大きくなったことが、今回の反省点である。

また、今回、係留観測というものを初めて実施した。錘の重量判断や係留用のロープ選びなど、漂流観測とは違う難しさがあった。天候や海況による影響が大きく、東シナ海での観測は上手くいかなかったが、八代海の観測では測器の動揺がかなり小さかった。動揺が大きいほど流速データに影響を与えるので、今後も動揺の低減を図っていきたい。

## 参考文献

- [1] 丸林賢次、安永誠、石橋道芳：表層流計測ブイの試作について、九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート、vol.7 p.64-71(2006)
- [2] 丸林賢次、安永誠、稲田勝、石橋道芳：強流域での係留ブイ式による測流、九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート、vol.7 p.72-77(2006)
- [3] 丸林賢次、石橋道芳：海洋計測における水平機構について、九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート、vol.8 p.137-141 (2007)
- [4] 油布圭：表層流計測用の漂流ブイの製作について、九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート、vol.14 p.59-64(2013)

## 謝辞

東アジア大気海洋環境研究センター海洋力学分野の吉川裕准教授（2013年6月に京都大学に異動）には、ADCP ブイ製作の機会を与えて頂いたことに感謝致します。また、製作に関して多くの助言を頂いた技術職員の石橋道芳氏、技術補佐員の丸林賢二氏、工作場の禅院実氏と水槽での試験に協力頂いた技術補佐員の稲田勝氏、技術職員の野田穰士朗氏にお礼申し上げます。