

# 水中グライダーによる海洋観測の展望

浅川賢一 (JAMSTEC)・中村昌彦 (九大応力研)・石原靖久 (JAMSTEC)  
百留忠洋 (JAMSTEC)・前田洋作 (JAMSTEC)

## 概要

本校では、水中グライダーが必要とされる背景について述べたのち、現在実用に供されている主要な水中グライダーと日本の研究開発状況を紹介します。最後に、筆者等が開発を進めている長期定域観測用水中グライダーの概要とこれまでの実験結果を紹介します。この水中グライダーは、海底または海中に浮遊状態でスリープすることにより、観測期間を数年以上に延ばすことを目指している。

## 1. はじめに

地球の温暖化が一般に認識されるようになった。海水は大気の約 1,000 倍の熱容量を持っていると言われている。そのため、海洋は地球の温度変動を平滑化する役割を果たしてきた。しかし、最近では本来水温がより安定しているはずの深海においても、水温の上昇が観測されるようになってきた。このことは、海水の温度変動が海洋全体に及んでおり、不可逆的な変化が進行していることを示唆している。

また、海洋は人工的に作られる二酸化炭素の約 30% を吸収して、大気中の二酸化炭素の増加を抑えてきた。しかし、最近では海水の酸性化も認識されるようになってきた。

このように、海洋環境変動は地球環境変動と大きな影響を持っている。地球環境変動全体を理解し、その将来の予測精度を高めるためには、深海を含めて海洋の環境変動を正確に観測して把握することが重要である。

現在、海洋観測はおもにアルゴフロート、係留ブイ、船、衛星によって行われているが、それぞれ一長一短を持っている。

アルゴフロートは、浮力エンジンを用いて浮力を制御することにより、水面と水深 2,000m の間を 10 日に 1 回往復しながら、水温と塩分を測定する (図 1)。浮力エンジン

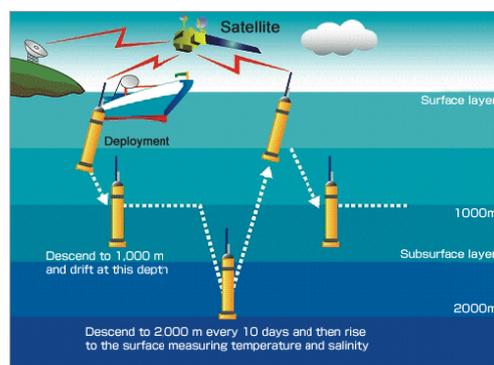


図 1 アルゴフロートの運用イメージ  
[http://www.jamstec.go.jp/J-ARGO/overview/overview\\_3.html](http://www.jamstec.go.jp/J-ARGO/overview/overview_3.html) より

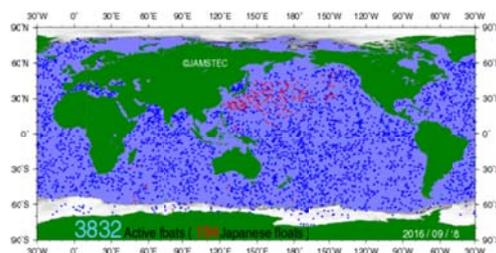


図 2 アルゴフロートの配置  
[http://www.jamstec.go.jp/J-ARGO/index\\_j.html](http://www.jamstec.go.jp/J-ARGO/index_j.html) より。赤い点が日本が展開したアルゴフロートの位置を示す。

は一般に油圧ポンプを用いて、耐圧容器の外部にあるオイルブラダと耐圧容器内にあるオイルリザーバの間でオイルを出し入れすることにより、フロートの体積と浮力を制御して下降と上昇を繰り返す。観測と観測の間は、水深 1,000m のところでクロック以外の電源を落としてスリープし、海水中を浮遊する。水面浮上時に GPS で測位すると共に衛星経由で測定したデータを伝送する。エネルギー効率が高いので、3~4 年以上に亘って観測を行う。各国が参加しているアルゴプロジェクトにより、現在、全世界に約 3,600 台のアルゴフロートが展開されている。(図 2)。こ

のアルゴプロジェクトは、海洋学にブレイクスルーをもたらしたと言われている<sup>1)</sup>。しかし、海洋は広大で有り、平均すると300km<sup>2</sup>に一台のアルゴフロートが配置されているに過ぎず、十分な密度での観測が行われているとは言い難い。また、アルゴフロートは海水と共に漂流するので、変動の時間変化と空間変化の分離が困難である。また、アルゴフロートの適応最大水深は2,000mであるが、さらに深い水深でも水温変化が観測されている。そこで最近、6,000mまで観測が可能なフロートの開発が進められている<sup>2),3)</sup>。

係留ブイは主に赤道周辺に配置されている。定点における連続的観測が可能であるが、建設と保守に大型船を要するので、その数を増加することが困難で有り、観測範囲も水深700m以浅に限定される。

最近、新しい海洋観測のプラットフォームとして、水中グライダーが各国で利用されるようになってきた。この水中グライダーはアルゴフロートと同様に、浮力エンジンを用いて下降と浮上を繰り返す。同時に翼に働く揚力を利用して、目標位置に向けて水中を滑走する。海面に浮上したときにGPSにより位置を測位すると共に、人工衛星経由で観測データを送信し、コマンドを受け取る。アルゴフロート同様にエネルギー効率が良いために、長距離を滑走することができる。大西洋を横断した例も報告されている<sup>4)</sup>。

アルゴフロートは海水と共に漂流するために、その移動コースを制御することができない。観測するポイントに長期間滞在することもできない。一方、水中グライダーはその観測ルートを設定することができる。また、観測船や係留ブイによる観測と比較してコストパフォーマンスが優れている。そのため、最近では国外で多くの水中グライダーが利用されるようになってきた。主に沿岸での海洋環境観測に利用されている。

水中グライダーは、筆者が知る範囲では1980年代に東大生研の浦等によって初めて研究が行われた<sup>5)</sup>。東大生研ではその後、1990年代の中頃まで研究が続けられ、PTEROA<sup>6)</sup>とALVAC<sup>7)</sup>の開発が報告されている。一方

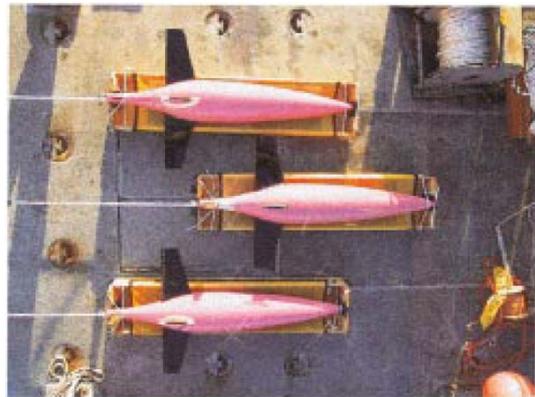


図3 Seaglider<sup>9)</sup>

米国においては、1989年にStommel<sup>8)</sup>によって低コストの多数の水中グライダーによる海洋観測が提案された。それ以後、米国ではSlocum、Seaglider、Splayが開発され、多くの水中グライダーが実用されるようになった。

国内外の水中グライダーに関しては、すでに報告<sup>9)</sup>があるので、ここでは第2章と3章で、国外と国内の主要な水中グライダーの概要を簡単に紹介する。第4章においては、筆者等が開発を進めている長期定域観測用水中グライダーを紹介する。この水中グライダーは、海底または海中に浮遊状態でスリープすることにより、観測期間を数年に延ばすことを目指したものである。

## 2. 海外の水中グライダー

### 2.1. Seaglider

Seaglider<sup>10)</sup> (図3)はワシントン大学のSchool of Oceanographyで開発された。流体抵抗が低い外形を採用している。内臓の電池を動かすことにより、ピッチ角とロール角を変えて運動方向を制御している。アンテナは船尾に固定されている。水面浮上時にはこのアンテナを空中につきだして、GPS測位とイリジウム通信を行っている。最大潜水深度、空中重量、全長、最大連続運転時間、最大航続距離はそれぞれ1,000m、52kg、180cm(アンテナを含めると330cm)、200日、4,600kmである<sup>11)</sup>。1999年には8日間に亘る225サイクルの連続走行に成功している<sup>11)</sup>。2010年の時点で、100機程度製造していた。



図 4 Deepglider

<http://seaglider.washington.edu/story/Deepglider.html> より



図 5 Slocum G2<sup>12)</sup>

## 2.2. Deepglider

Seaglider と同様にワシントン大学の School of Oceanography で開発された水中グライダーで、水深 6,000m までの潜水が可能である。外観を図 4 に示す。構造等は Seaglider に類似している。最大潜水深度、空中重量、全長、最大連続運転時間、最大航続距離はそれぞれ 6,000m、75kg、180cm、18 ヶ月、10,000km である<sup>12)</sup>。2014 年に 5,000m までの潜水に成功した。水深 6,000m まで潜水することにより、世界の大洋の約 98% をカバーすることができる。

## 2.3. Slocum

Webb Research Corp. によって開発された水中グライダーである。初代の Slocum<sup>13)</sup> は海

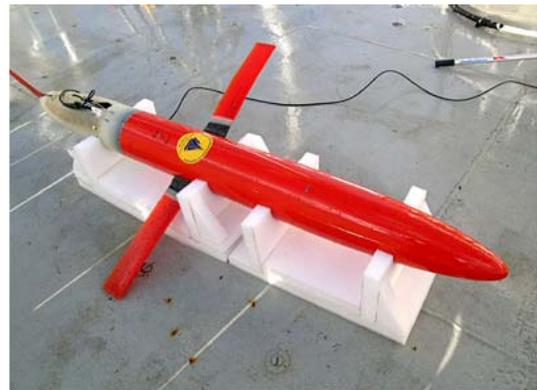


図 6 Spray

<https://www.whoi.edu/instruments/gallery.do?clid=748&iid=1498> より

洋の熱構造から熱エネルギーを受け取り、動力としていた。2003 年に海洋での実験に成功したが、実用化には至っていない。現在では、バッテリーで駆動する Slocum G2<sup>14)</sup> (図 5) が市販されている。最大潜水深度、空中重量、全長、最大連続運転時間、最大航続距離はそれぞれ 1,000m、54kg、150cm、25-365 日、600-1,500km である<sup>11)</sup>。40 種類以上のセンサーが取り付けられるように、モジュラー構造になっている。すでに 600 台以上の実績があるようである。オプションとしてスラスタを取り付けることが可能である。Seaglider や Splay では、重りを移動してピッチ角とロール角を制御し、進行方向を変えているが、Slocum ではラダーを用いている。また、Seaglider や Splay では浮力エンジンに回転式ポンプを用いているが、シングルストロークのピストンポンプを利用している。

## 2.4. Spray

Spray<sup>15)</sup> は Scripps Oceanographic Institute で開発された。現在は Bluefin Robotics で市販されているようである。その外観を図 6 に示す。最大潜水深度、空中重量、全長、最大連続運転時間、最大航続距離はそれぞれ 1,500m、51kg、200cm、330 日、7,000km である<sup>11)</sup>。アンテナは主翼の端に組み込まれており、水面浮上時には機体を 90 度回転させてアンテナを空中に突き出す。



図7 SeaExplore<sup>17)</sup>  
ACSA のパンフレットより



図8 Boomerang

## 2.5. Sea Explorer

SeaExplore (図7)は最近ヨーロッパで開発された水中グライダーで、ACSA 社、フランスの IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer)や CNRS (Centre National pour la Recherche Scientifique)などの研究機関、ACRI-ST、ACRI-IN などの企業グループが開発に参加した<sup>16)</sup>。Seaglider などと同様に、内臓の重りを動かすことにより、姿勢と運動方向を制御している。アンテナは Seaglider と同じように、機体の後方に配置されている。最大潜水深度、空中重量、全長、最大連続運転時間はそれぞれ 700m、59kg、200cm、2ヶ月である<sup>17)</sup>。リチウム2次電池を使っているために、運用コストが低い。これまでに、1回の充電で、2ヶ月間で 1,200km の走行を行い、水温、電気伝導度、溶存酸素濃度の測定を行った実績がある。

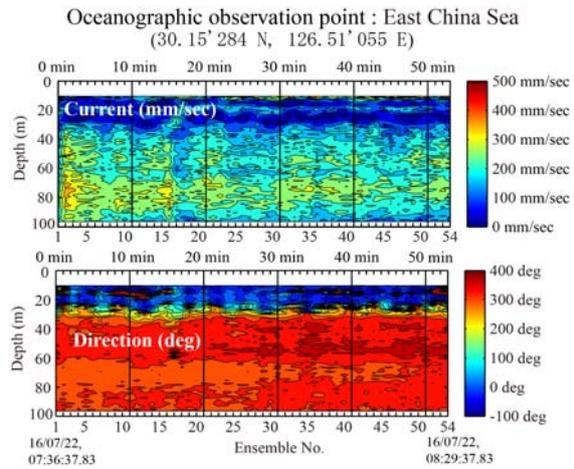


図9 Boomerang に搭載した ADCP により測定した海水の流向・流速分布



図10 グライダー型海洋ビークル<sup>9)</sup>

## 3. 日本の水中グライダー

日本国内においては、東大生研における研究に引き続き、九州大学、大阪府立大学、大阪大学、JAMSTEC で研究が進められている。

九州大学の中村等は、ディスクタイプの水中グライダー(図8)を提案して、研究を進めている<sup>18)</sup>。姿勢と運動方向は機体内部の重りを移動することにより制御する。運動方向の制御が比較的速くできるので、特に浅海での応用に向いていると考えられる。その直径、高さ、空中重量、最大深度、浮力の可変範囲はそれぞれ 190cm、55cm、100m、±39.72N である。2016年7月には東シナ海で着底状態で ADCP により流速・流向を観測した(図9)。

同じく、九州大学の山口等は無尾翼型の水中グライダー<sup>19)</sup>を作成している。その写真を図10に示す。浮力調整機構、重心移動装置と



図 11 SOARER

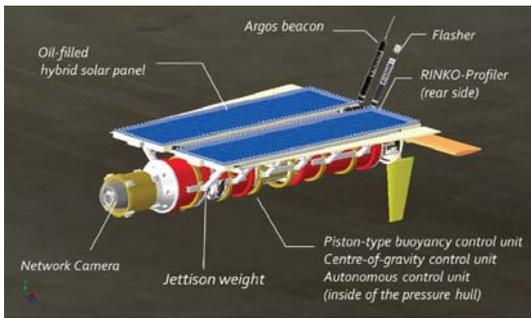


図 12 Tonai60



図 13 SOTAB

<http://www.naoe.eng.osaka-u.ac.jp/~kato/project/en/measures/01.html> より

加速度センサーを用いて横揺れ等を制御する方法を試みている。

大阪府立大学の有馬等は、SOARER<sup>20)</sup> や Tonai60<sup>21), 22)</sup> の開発を進めている。SOARER (図 11) は主翼がそれぞれ独立して制御できるのが特長である。最大潜水深度、空中重量、全長はそれぞれ 1,500m、82kg、242cm (アンテナ込み) である。RINKO-profiler (JFE アドバンテック) を搭載し、深度、水温、電気伝導度、溶存酸素濃度、クロロフィル a、濁度が測定できる。2012 年に鹿児島湾内で水深 140m までの滑走実験を行い、水温、電気伝導度などの観測を行っている。

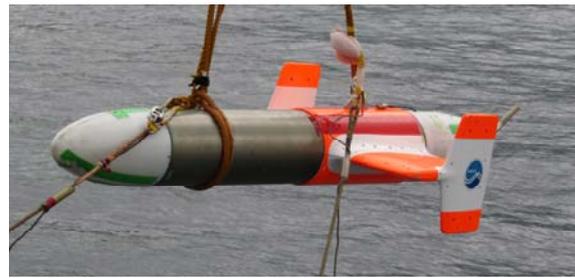


図 14 長期定域観測用水中グライダー

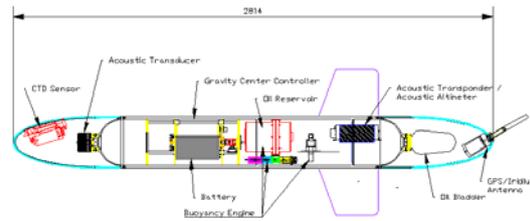


図 15 長期定域観測用水中グライダーの全体配置図

Tonai60(図 12)は珊瑚礁のモニタリングを目的とした水中グライダーである。最大潜水深度は 60m であるが、RINKO-profiler の他、高感度カメラ、海洋哺乳動物観測用音響データロガーや、太陽電池を搭載しているのが特徴である。

大阪大学の加藤等は、重油の流出事故に際し、流出重油を自動的に追跡し、監視することを目的とした水中グライダー-SOTAB(図 13)を開発した<sup>23)</sup>。他の水中グライダーと異なり、鉛直方向に起立する。浮力エンジンの他に、スラスタ 2 対を搭載している。また、センサとして水中質量分析計、CTD センサ、ADCP、CCD カメラなどを搭載している。最大潜水深度、全長、空中重量はそれぞれ 1,500m、2.5m、312kg である。

国内で開発された水中グライダーはいずれも研究を目的としたもので、実用化には至っていない。

#### 4. 長期定域観測用水中グライダー

通常的水中グライダーは、SOTAB をのぞき、海洋の 2 次元断面を連続的に測定することを目的としている。これに対し筆者等は、水中グライダーに着底機能スリーブ機能と、アルゴフロートに採用されている浮遊スリーブ機

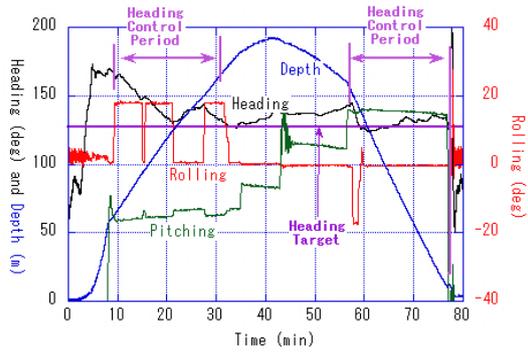


図 16 目標位置に向けた滑走実験の記録

能を持たせることにより、数年間に渡って一定の海域内で長期観測を行う水中グライダーを提案し、そのプロトタイプを開発を行っている。本章では、その概要と、これまでに行った目標位置に向けた滑走実験、着底スリープ実験、浮遊スリープ実験、大深度潜水実験の概要を紹介する。これらの実験により、長期定域観測に必要な基本的機能を確認している。

#### 4.1. 長期定域観測用水中グライダーの概要

長期定域観測用水中グライダーの外観と全体配置図を図 14 と図 15 に示す。ピッチ角と方向制御は内臓の電池を動かして姿勢を変えることを行っている。最大潜水深度は、当初 3,000m に設計された。また、当初は Deep NINJA<sup>2)</sup> 用に開発された浮力エンジンを搭載していたが、その後、小型・高速化を図るために、新たな浮力エンジン<sup>24)</sup>を開発し、置換した。市販の汎用小型アキシャルピストンポンプを利用したため、最大適応水深が 2,100m に制限された。さらに、観測用センサとして Sea-Bird Electronics 社のグライダー用 CTD センサ (最大適応水深 1,500m) を搭載した。そのため、現在の最大潜水深度は 1,500m に制限されている。全長と空中重量はそれぞれ 281cm (アンテナ込み)、150kg である。

機体前部のフェアリング内には、音響送受波器が固定されている。このトランスポンダは、高度計と音響測位装置のどちらかに接続されている。JAMSTEC 所有の研究船の音響測位装置と互換性を持たせるため、周波数帯域は 10~15kHz とした。また、様々な海底傾斜

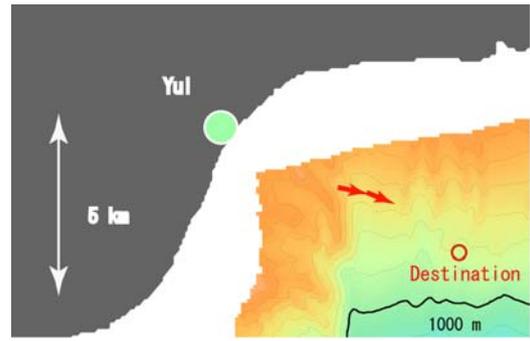


図 17 目標位置に向けた滑走実験の航跡

に対応するため、前方にほぼフラットな指向性を持っている。

#### 4.2. 目標位置に向けた滑走実験

第 1 回目の目標位置に向けた滑走実験は、2015 年 4 月に駿河湾内において第 28 東海丸を用いて行った。目標位置はあらかじめ設定した。潜水開始直前の水中グライダーの現在位置は、GPS により測定し、目標位置の相対方向を求め、その方向に向かって滑走する。水中では位置の測定はできないので、推測航法で滑走する。図 16<sup>25)</sup>はそのときの記録の一部を示した図である。水面浮上時はアンテナを水面から突き出すために、ピッチ角は下向き (マイナス) に最大にしている。イリジウム経由で潜水開始コマンドを受け取ると、浮力エンジンを駆動して油を耐圧容器内のオイルリザーバに引き込み、水中重量を増加する。規定量の油を引き込んだとき、あるいは規定の深度まで潜水したときに、目標ピッチ角を -15 度にして、ピッチ角制御と方位制御を始めた。ピッチ角制御や方位制御には一定の許容幅を持たしている。目標方位は、太い紫色の直線で示している。最大電流を制限するため、ピッチ角制御と方位制御、および浮力エンジンの制御は交互に行っている。そのため、方位制御を始めて一定の時間が経過すると、方位制御を一旦中断して、ピッチ角のチェックを行ない、その値が許容範囲外の場合にピッチ角を修正している。

規定の最大目標水深 (200m) に近づくと、方位制御を中断し、目標ピッチ角を -5 度として、下降速度を低減している。さらに、浮力エンジンを駆動して浮力を増加している。水深の

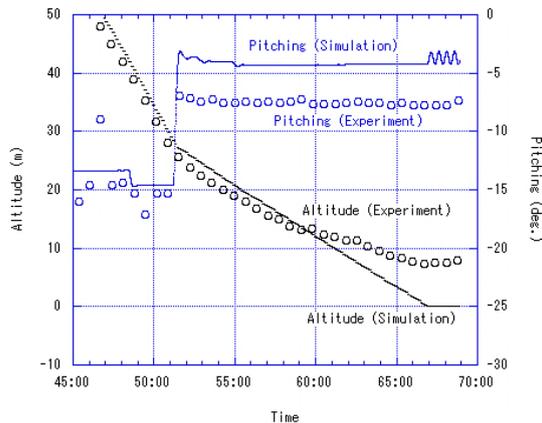


図 18 着底スリープ実験の記録

変化率が低下していることから、下降速度が低減していることが確認できる。上昇に転じたときには、目標ピッチ角を+5 度に変更し、さらに浮力を増加する。上昇に転じたときにピッチ角が下向きのままだと、水中グライダーは後進し、姿勢が不安定になる。一定の上昇速度に達したときに、目標ピッチ角を+15 度に変更して、方位制御を再開した。図 16 より安定したピッチ角制御と方位制御が行われたことを確認することができる。

潜水は 2 回続けて行った。図 17<sup>25)</sup>に GPS で測定した潜水開始時と浮上時の位置と目標位置を示す。海水の流れは反対方向に向かっていたが、目標位置に向かって滑走したことが確認できる。

### 4.3. 着底スリープ実験

海底直上の海水の流速は、一般にそれほど速くない。そのため、着底した状態でスリープすることにより、長期間ほぼ一定の場所に留まることが期待できる。

着底スリープ実験は、2015 年 11 月に静岡県下田沖で筑波大学所有の調査研究船「つくば II」で行った。図 18<sup>26)</sup>に着底直前のピッチ角と高度計の出力の記録を示す。

海底の状況は未知であるために、水中グライダーの安全性を確保するためには、海底にゆっくりと着底することが重要である。そこで、水中グライダーには高度計を搭載し、海底までの高度を監視している。海底までの高度が規定の値 (30m) に達すると、ピッチ角を -5 度に変更すると共に、浮力エンジンを駆動

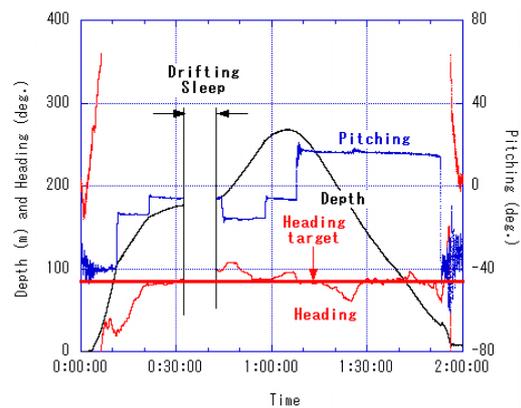


図 19 浮遊スリープ実験の記録

して浮力を低減し、下降速度を低減している。高度計の測定限界が約 8m であるため、海底に接近すると、正確な高度の測定が行われない。そのため、着底の判定は水深の値の変化を監視して行っている。海底への着底を検知すると、10 分間のスリープを開始したため、データが途切れている。図示していないが、10 分経過後、水中グライダーは再起動して、浮上を開始した。この実験結果から、安定した着地と着底スリープが行えることが確認できた。

図 18 にはシミュレーションの結果も比較のために示した。実験結果と良く一致していることが確認できる。

### 4.4. 浮遊スリープ実験

海底の深度が深く水中グライダーが到達できない場合には、アルゴフロートと同様に、水中に浮遊した状態で規定の時間スリープする。この場合、スリープ直前に水中重量をほぼニュートラルの状態にして、スリープ中に生じる深度変化を小さくする必要がある。

浮遊スリープ実験は、2016 年 5 月に JAMSTEC の研究船「かいいい」を利用して 2 回行われた。第 1 回目の浮遊スリープ実験は次節で紹介する大水深潜水実験と同時に行われた。ここでは、その翌日に行った 2 回目の浮遊スリープ実験結果を紹介する。

図 19 は浮遊実験を行ったときの記録の一部を示した図で、水深、ピッチ角、方位を表したものである。この実験では、浮遊スリープと同時に、目標方位に向けた滑走実験も行い、安定した方位制御が行えることを再確認

している。実験では、スリープする目標深度と最大潜水目標深度を、それぞれ180mと270mに設定した。スリープ目標深度に接近するまでの制御手順は、目標位置に向けた滑走実験と同じである。スリープ目標深度に接近すると、水中グライダーはピッチ角目標値を-5度にして、下降速度を低減した。さらに水中重量をニュートラルにするために、浮力エンジンを駆動して、油を機体外部のオイルブラダに押し出した。油の押し出しは、水深の変化率、つまり下降速度を監視しながら行っている。下降速度が閾値以下になったときに、水中重量がほぼニュートラルになったと判断して、スリープを開始した。スリープ時間は10分とした。スリープ時間が経過して再起動すると、最大潜水目標深度まで下降するために、まず、ピッチ角を-15度に変更した。さらに、浮力エンジンを起動して油を機体内部のオイルリザーバに引き込み、水中重量を増加して下降を再開した。下降速度が閾値以上になった時に、方位制御を再開している。その後の制御手順は、目標位置に向けた滑走実験と同様である。

本実験と、その前日に行った浮遊スリープ実験により、安定した浮遊スリープが行えることが確認された。

#### 4.5. 大深度潜水実験

第1回目の水深1,000mまでの潜水実験は、2014年11月にJAMSTEC所有の研究船「なつしま」を利用して行ない、良好な結果を得た<sup>25)</sup>。ここでは、前述の浮遊スリープ実験と同じ航海で行った水深1,000mまでの潜水実験結果<sup>27)</sup>を紹介する。

図20は記録の一部をプロットした図である。深度の他、ピッチ角と方位角を示している。制御手順は前述の浮遊スリープ実験と同様である。この実験では、最大目標水深とスリープ目標深度、スリープ時間をそれぞれ1,500mと1,000m、10分とした。前述の浮遊スリープと同様に、目標位置に向けた滑走実験を同時に行っている。図20より、スリープ終了直後に一旦下降を開始したが、その後上昇に転じていることが分かる。これは、水中

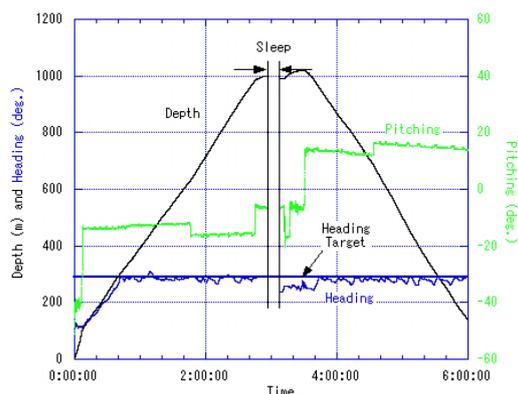


図 20 大水深潜水実験記録

重量を増加するために浮力エンジンを駆動したが、規定の時間内に規定の下降速度に達しなかったため、異常動作と判断し、上昇に転じたためである。つまり、異常動作と判断する条件が厳しすぎたため、途中で下降を中断したのが原因である。

この実験の結果、水深1,000mまでであるが、安定した下降・上昇と目標位置に向けた滑走ができることが再確認された。なお、上記の異常判断の判定条件はこの実験直後に修正した。さらに、前節で紹介した翌日の浮遊スリープ実験で修正結果が検証された。

#### 5. 終わりに

新しい海洋観測のプラットフォームとして、水中グライダーは世界各国で広く使われている。国内でもようやく一部で試験的な利用が始まっている。水中グライダーを利用することにより、妥当なコストで海洋の断面構造を測定することができるため、今後さらに利用が広がっていくことが期待される。

筆者等は、従来の中グライダーに水中浮遊状態、あるいは着底状態でのスリープ機能を持たせることにより、数年以上の長期間に亘って定域での観測を行うことを提案し、そのプロトタイプを開発した。これまでの実験により、目標位置に向けた滑走機能、海底着底状態でのスリープ機能、浮遊状態でのスリープ機能、大水深への潜水機能など、長期定域観測に必要な基本的機能を実証した。今後、これらの機能を総合して、より長期間の連続観測実験を行うと共に、実用性を高めた水中グライダーの開発を進めたいと考えている。

## 参考文献

- 1) J. Gould, D. Roemmich, S. Wijffels, H. Freeland, M. Ignaszewsky, X. Jianping, S. Pouliquen, Y. Desaubies, U. Send, K. Radhakrishnan, K. Takeuchi, K. Kim, M. Danchenkov, P. Sutton, B. King, B. Owens and S. Riser, "Argo Profiling Floats Bring New Era of In Situ Ocean Observations," *Eos*, vol. 85, no. 19, 11 May 2004.
- 2) T. Kobayashi, K. Amaike, K. Watanabe, T. Ino, K. Asakawa, T. Suga, T. Kawano, T. Hyakudome, and M. Matsuura, "Deep NINJA: A new profiling float for deep ocean observation," *Proc. of the 22nd Int. Offshore and Polar Engineering Conference*, pp.454-461, 2012.
- 3) Report on the Deep Argo Implementation Workshop, <http://www.argo.ucsd.edu/DAIW1report.pdf>
- 4) A. D. Shapiro, "Remotely Piloted Underwater Glider Crosses the Atlantic," *IEEE Spectrum*, <http://spectrum.ieee.org/robotics/industrial-robots/remotely-piloted-underwater-glider-crosses-the-atlantic>
- 5) 浦環、大坪真一郎、「グライダー型潜水艇の設計に関する研究(その1)」、*生産研究*、vol. 37, no. 12, pp.539-542, 1985.
- 6) 浦環、能勢義昭、坂巻隆、「グライダー型船制定の設計に関する研究(その8)」、*生産研究*、vol. 43, no. 3 pp.165-167, 1991.
- 7) K. Kawaguchi and T. Ura, "A Shuttle Type Autonomous Underwater Vehicle "ALBAC" for Oceanographic Measurement," *J. of Advanced Science*, pp.67-73, vol. 5, no. 3, pp.67-73, 1993.
- 8) H. Stommel, "The SLOCUM mission," *Oceanography*, pp. 22-25, 1989.
- 9) 中村昌彦、小寺山亘、吉村浩、浅川賢一、百留忠洋、「水中グライダーによる海洋観測」、*海洋理工学会誌*、vol.17, no.2, 2012.
- 10) C. C. Eriksen, T. J. Osse, R. D. Light, T. Wen, T. W. Lehman, P. L. Sabin, J. W. Ballard and Andrew M. Chiodi, "Seaglider: A Long-Range Autonomous Underwater Vehicle for Oceanographic Research," *IEEE J. of OCEANIC ENGINEERING*, vol. 26, no. 4, pp. 424-436, 2001.
- 11) Daniel L. Rudnick, Russ E. Davis, Charles C. Eriksen, David M. Fratantoni, and Mary Jane Perry, "Underwater Gliders for Ocean Research," *Marine Technology Society J.*, vol. 38, no. 2, pp. 73-84, 2004.
- 12) C. C. Eriksen, "Deepglider™ pilot observations of full water column structure near Bermuda and relevance to AMOC estimation," *US AMOC Science Team Meeting*, 2014. <https://usclivar.org/sites/default/files/webform/meetings/2014/amoc-presentations/Eriksen-C-2014AMOC.pdf>
- 13) D. C. Webb, P. J. Simonetti, and C. P. Jones, "SLOCUM: An Underwater Glider Propelled by Environmental Energy," *IEEE J. of OCEANIC ENGINEERING*, vol. 26, no. 4, pp. 447-452, 2001.
- 14) C. Jones, B. Allsup and C. DeCollibus, "Slocum Glider Expanding our Understanding of the Oceans," in *Proc. of OCEANS'14 MTS/IEEE St. John's*, 2014.
- 15) J. Sherman, R. E. Davis, W. B. Owens, and J. Valdes, "The Autonomous Underwater Glider "Spray"," *IEEE J. of OCEANIC ENGINEERING*, vol. 26, no. 4, pp. 437-446, 2001

- 16) P. Pla and R. Tricarico, "Towards A Low Cost Observing System Based On Low Logistic SeaExplorer Glider - Key features & mission overviews" in Proc. of Underwater Technology 2015, 2015.
- 17) ACSA のパンフレットより : [http://www.acsa-alcen.com/sites/acsa-alcen.com/files/datasheet/acsa\\_seaexplorer\\_datasheet](http://www.acsa-alcen.com/sites/acsa-alcen.com/files/datasheet/acsa_seaexplorer_datasheet).
- 18) 中村昌彦、伊藤謙、小寺山亘、野田穰士朗、兼原壽生、山脇信博、松野健。「バーチャルモアリング用円盤型水中グライダーの開発—水中グライダーによる海洋観測—」、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 21 号、pp.347-352、2015.
- 19) 山口悟、内藤誉、釘宮武志、赤星顕悟、藤本尚孝、「グライダー型海洋観測ビークルの運動制御機構の開発に関する研究」、日本船舶海洋工学会講演会論文集第 4 号、pp.517-520、2007.
- 20) M. Arima, H. Tonai and Y. Kosuga, "Underwater Glider 'SOARER' for Ocean Environmental Monitoring," in proc. Underwater Technology 2013, 2013.
- 21) M. Arima, K. Yoshida, H. Tonai, "Development of a Coral Monitoring System for the Use of Underwater Vehicle," in proc. of OCEANS'14 MTS/IEEE Taipei, 2014.
- 22) M. Arima, K. Yoshida, H. Tonai, "Development of a Four-channel Underwater Passive Acoustic Monitoring System for the Use of Underwater Vehicles," in Proc. of OCEANS'14 MTS/IEEE St. John's, 2014.
- 23) M. Choyekh, N. Kato, T. Shot, Y. Yamaguchi, R. Dewantara, M. Yoshie, T. Tanaka, W. Kobayashi and H. Chiba, "Early detection and monitoring of large scale hazardous substances spill from offshore platform using autonomous underwater vehicle," 第 25 回海洋工学シンポジウム、pp.237-244、2015.
- 24) K. Asakawa, K. Watari, H. Ohuchi, M. Nakamura, T. Hyakudome and Y. Ishihara, "Buoyancy Engine Developed for Underwater Gliders," Advanced Robotics, vol. 30, no. 1, pp.41-49, 2016.
- 25) K. Asakawa, M. Nakamura, T. Hyakudome and Y. Ishihara, "Sea Trials of an Underwater Glider for Long-term Virtual Mooring," in proc. of 26<sup>th</sup> Intern. Ocean and Polar Eng. Conf., pp. 585-589., 2016.
- 26) K. Asakawa, M. Nakamura, Y. Maeda, T. Hyakudome and Y. Ishihara, "Landing-sleep and Drifting-sleep Experiments of the Underwater Glider for Long-term Observation," in proc. of AUV2016, 2016. to be published.
- 27) K. Asakawa, M. Nakamura, Y. Maeda, T. Hyakudome and Y. Ishihara, "Development of Underwater Glider for Long-term Virtual Mooring – Aiming 6,000 m depth with Ceramic Housing –," in proc. of Techono-Ocean 2016, 2016. to be published.