

# ペットボトル製水中グライダー

水中ロボコン情報交換メーリングリスト<sup>13)</sup>管理人  
水中ロボコン推進委員会<sup>11)</sup> 幹事  
西村 一

## 1. はじめに

水中ロボットを中高生レベルで製作するのは耐圧・水密、浮力や姿勢の調整、流体力学的な成型など技術的に難しいし時間も掛かる。ここではペットボトルなど簡単に入手できる材料を使った水中グライダーを試作した。

## 2. 現実の水中グライダー

推進器を持たず、浮力と姿勢を変えることによって、潜航と浮上を繰り返しながら翼の揚力で海中を進んでいく、それが「水中グライダー」である。

### 2.1 Argo フロート

海洋観測を全地球的にリアルタイムで行うには、観測船やブイよりも開発費・運用費の安い無人観測ロボットをたくさん投入しないと世界の海をカバーできない。

すでに Argo 計画<sup>14-3)</sup>という国際協力のもと、自律して沈降と浮上を繰り返しながら漂流する自動浮沈型漂流ブイを全世界の海洋に約 3000 台投入する計画があり、すでに 9 割まで投入済みであることをご存知だろうか。このブイは“プロファイリング・フロート”又は“Argo フロート”と呼ばれている。

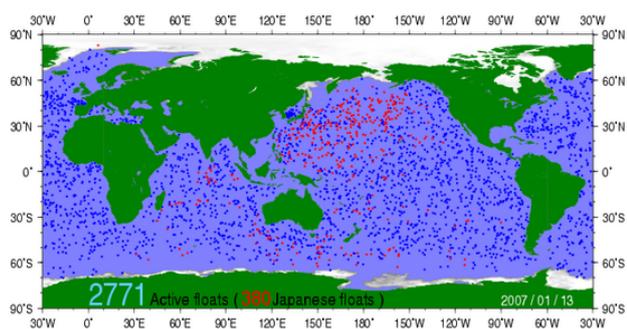


図1 Argo フロートの分布

これは油ブラダ方式、つまり油を耐圧容器外の袋（ブラダ）に出し入れして排水容積を変化させることで浮沈する。リチウム一次電池を動力源とし、4 年以上にわたって 100 回以上の浮沈を繰り返す。その間、水深 2000m までの水温・塩分分布を計測し、浮上時に衛星経由でデータを送信する。1 台が約

150 万円で、ほぼ使い捨て（回収に成功することはまれ）ではあるが、観測船から吊り下げる CTD 観測に比べて非常にコストパフォーマンスがよい。

### 2.2 自律型海中グライダー

しかしこの Argo フロートは自航能力がなく、平均 300km 間隔でバラけていくだけなので、特別な海域を高密度に観測するには適していない。例えば栄養塩が湧昇する海域のプランクトン増殖域とか、逆に海洋表層から中層に沈み込む海域を高密度に観測することはできない。地球シミュレータが階層連結という手法で 1 km メッシュの海洋生態系も含むモデルをシミュレーションできる時代にあって、これでは不十分である。

それに対し、Argo フロートに翼を付けて上昇・下降時に滑空する能力を持たせ、浮上時に双方向通信可能な衛星サービスでナビゲーションする、そんな自律型海中グライダーが各種考案されている<sup>4)-7)</sup>。

水温と塩分以外にも栄養塩、クロロフィル、溶存酸素・二酸化炭素等も計測しようとする、センサーが高価となり、しかもキャリブレーションのため回収が必要となるが、海中グライダーならある程度海域を集中させることが可能となるので、回収も容易になる。

これらは浮沈メカニズムとしては Argo フロートと同じ油ブラダ方式であるが、水深を 200m 以浅の有光層に限定すれば空気ブラダも可能だろう。動力源としてはバッテリーのほか、海表面と深海の温度差を利用したものも開発されている<sup>5)</sup>。



図2 Webb Research 社の Slocum Glider

### 3. 工作事例

工作事例を考えるにあたって、対象を中学生～高校生とする。実は水中グライダーの流体力学的なことについてはむしろ大学レベルであるが、工作が可能という点で中高生とした。

まずは水面から投入してプール底に着くまでの下降中の水平距離を競うことを考える。

その次の段階としてはプール底に着いたらオモリを落として斜めに上昇し、下降・上昇の間の合計の水平距離を競うなどが考えられる。

#### 3.1 胴体

胴体については抵抗がすくないほどよいという点では平板がよいが、耐圧容器がある、あるいは乗り物というイメージで感情移入しやすい点で 500ml のペットボトルを使用することを競技ルールとする。実際には 500ml ペットボトルを 2 本、縦列に接続するのが現実的である。最近、ペットボトル材料の薄肉化が進んでおり、表面に凹凸の多いペットボトルが多いが、内圧のある炭酸飲料でまだ円筒型のものが出回っている。

胴体の頭部（先端部）は尖っているほど抵抗が少なくなるが、アイスクリームコーン用の円錐形プラスチック容器が見当たらなくなった。ペットボトル材料をバラして円錐形を作るほうが現実的かもしれない。そこは自由に工夫させる。

#### 3.2 翼

翼型断面とするのは工作難度が高すぎるので、平板翼とする。昔は適度な硬さのプラスチック製下敷きが出回っていたが、今のはやわらかすぎて使い物にならない。結局、タミヤのプラバン（楽しい工作シリーズ No.124、1.0mm 厚 B4 サイズ）<sup>8)</sup>を競技ルールとした。キッチンバサミで切断可能である。

翼のサイズとして、翼幅があればあるほど揚力が増えるので、主翼、垂直・水平尾翼を B4 サイズ 1 枚でまかなうことを競技ルールとする。

主翼のサイズ・形状をどうするかは子供に試行錯誤させる。翼の左右幅と前後幅のどちらを優先して大きくした方が得なのか、また三角翼はどうかなど、ゆっくりした前進速度での平板翼の揚力については通常の流体力学的常識が必ずしも当てはまらないところが面白い。

もうひとつ重要なのは主翼の取り付け位置である。

工作上はペットボトルの上面または下面に貼り付けると簡単だが、揚力の点と左右の安定性の点で相反するメリット・デメリットがあり、それを子供に発見させるとよいだろう。

B4 サイズ 1 枚という制約条件下で主翼を上下二段又はトンボのような前後 2 列についても試してみるとよい。

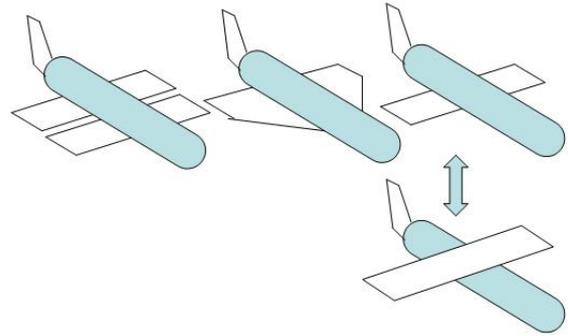


図3 主翼のいろいろ

#### 3.3 垂直・水平尾翼

垂直尾翼や水平尾翼が必要かどうかは子供に試行錯誤させる。できるだけ「飛行機」という先入観念を持たせることなく自由な形状に挑戦させたいものだが、飛距離を競うためにはやむなく垂直尾翼・水平尾翼あるいはそれに類するものが必要になって、結局、飛行機に類する形状となってしまふ。

それでは面白くないので、飛距離を競う種目だけでなく、水底に着くまでの時間を競う種目（着底のタイミングの決定が難しいが）、あるいは最も意外な形状で最低 1 m 進むという種目を設定するのもよいだろう。

この垂直・水平尾翼の工作が意外に難しい。割り箸 2 膳で垂直尾翼と水平尾翼を挟み、ガムテープでグルグル巻きにしたものをペットボトルの口に押し込むと簡単に垂直・水平尾翼とすることができる。しかし、水深の深いプールだと、プールの底の方で割り箸の比重が水圧で減少したり、あるいは巻いたガムテープの間の気泡が潰れたりして、グライダーの前傾姿勢が減って滑空しなくなってしまう。

割り箸を使わない事例として、以下のような V 翼があり、下降時に左右安定性が増す効果があるが、上昇時には逆効果となるので注意。



図4 工作事例

### 3.4 オモリと浮力材

機体を組み立てて実際にプールに投入してみると、滑空姿勢を保ち続ける、つまり左右のどちらにも傾かず、かつ前傾姿勢を保ち続けることが難しいのに気づくだろう。

姿勢を安定させるには下向きの重力の作用中心（重心）が上向きの揚力の作用中心（揚力中心）よりも下になければいけないが、主翼を胴体の下面に貼り付けると揚力中心が重心より下になって不安定になってしまう。主翼を胴体の上面に貼り付ければよいが、胴体が干渉するせいか飛距離は稼げない。

また揚力中心の前後位置が前傾角によっても大きく変化し、一度突っ込み加減になると元に戻らなくなってしまったり、木の葉が舞うような状態になってしまう。

そこで浮力材を胴体上面、オモリを胴体下面に貼り付けて左右の水平姿勢と前傾姿勢を安定させることが必要となる。

ここで問題となるのが浮力材で、割り箸は比重が1に近すぎて沢山の割り箸が必要となるし、水深の深いプールで深く潜ると水圧で浮力不足となってしまう。普通の発泡スチロールやスタイルフォームは比重が軽い、やはり水圧が増えると浮力の減少が著しい。

そこでいろいろ探してみたところ、日曜大工の店で看板材料として売られている[アクリサンデー\(株\)のフォーレックスFOREX](#)（低発泡塩ビ板）<sup>9)</sup>のうち厚さ5mmのものが比重0.5というかなりの低重でしかも硬くて耐圧性がよい。

### 3.5 試験場所と回収手段

以上の試行錯誤を行うには何度も水中で試験する必要がある。比重や前後左右のバランスを確認するだけなら自宅の風呂で可能だが、滑空状態でのバランスは長さも深さもかなり大きい競泳プールなどでなければ確認できない。そこで問題となるのが回収手段である。学校の競泳プールは、夏場は水泳授業や部活に使われるので、それ以外の時期となると水着に着替えて潜るのも大変である。

そこで釣り糸を機体に結わえてリールでリリースまたは巻き取りを行うのが簡便である。釣り糸があると抵抗が大きくて不利に思えるかもしれないが、逆に釣り糸を操ることによって前傾姿勢や進行方向を調整することができて、むしろ飛距離を伸ばすことも可能である。

実際の競技でも、水中のダイバーに回収を頼ると、ダイバーの動きでプール内の水がかく乱され、水中グライダーに悪影響を与えるので、釣り糸を使用するのがよいだろう。

試験場所の問題に戻ると、学校で競泳プールを水中グライダーの試験に使おうとしても、水泳シーズンはまず無理だろう。それ以外のシーズンでも難しいかもしれない。そもそも維持費の問題からプールを廃止している学校が増えているという話も聞く。水深1m程度だと飛距離もせいぜい3m程度であり、醍醐味を味わうにはもっと深いプールが使用できるとよい。

海洋研究開発機構の潜水訓練プールは水深が3.3m、長さが21mで十分な広さ、深さがある。水中ロボコン推進委員会（代表：浦環、幹事：西村一）が隔月で借りて水中ロボットを自由に試験する機会としており、学生・教師は無料で参加できる<sup>12)</sup>。このような試験場所を他の地域でも増えていくことを期待したい。

## 4. まとめ

以上、中高生向け工作事例としてペットボトル製水中グライダーを紹介した。今まで試作した結果では水深の3倍以上の飛距離とすることには成功していない。ぜひ先輩諸氏より設計上の示唆を頂きたい。

実際に授業で取り上げる場合、地球環境を調べる手段として研究開発が行われている現状を紹介するとか、あるいはなにか夢のあるミッション・シナリ

オを提示してやるとよいだろう。最後にその一例を以下に紹介する。

『201X 年、木星の衛星エウロパに彗星が衝突。数キロ以上ある氷に穴があく。生命が存在する可能性のあるエウロパの海を調べる絶好のチャンスが到来。

限られた動力源で広大な海中を広く探査するシステムとして、多数の自律型海中観測グライダーを急遽エウロパに送り込むこととなり、その設計が開始された……。』

出典

(Argo フロート)

1) 日本 Argo 公式サイト

[http://w3.jamstec.go.jp/J-ARGO/index\\_j.html](http://w3.jamstec.go.jp/J-ARGO/index_j.html)

2) 米国 Argo 公式サイト

<http://www.argo.ucsd.edu/>

3) ワシントン大学 Argo サイト

<http://flux.ocean.washington.edu/>

(自律型海中グライダー)

4) 米 スクリプス 海洋研究所の SPRAY

<http://spray.ucsd.edu/>

5) 米 Webb Research 社の Slocum Glider

<http://www.webbresearch.com/slocum.htm>

6) ワシントン大学の SEAGLIDER

<http://www.apl.washington.edu/projects/seaglider/summary.html>

7) モントレイ湾水族館博物館の Autonomous Ocean Sampling Network II

<http://www.princeton.edu/~dcsl/aosn/>

(工作材料)

8) タミヤの楽しい工作シリーズ

[http://www.tamiya.com/japan/products/list/educational\\_materials/kit700M01.htm](http://www.tamiya.com/japan/products/list/educational_materials/kit700M01.htm)

9) アクリサンデー(株)のフォーレックス FOREX

<http://www.acrysunday.co.jp/products/date/04.html>

10) 君も作ろう、海中観測グライダー

[http://homepage3.nifty.com/nishimura\\_ya/robocon/Glider/](http://homepage3.nifty.com/nishimura_ya/robocon/Glider/)

11) 水中ロボコン推進委員会

[http://homepage3.nifty.com/nishimura\\_ya/robocon/](http://homepage3.nifty.com/nishimura_ya/robocon/)

12) 追浜ミーティング (水中ロボットワークショップ) 情報

<http://aquarobo.web.fc2.com/oppama/>

13) 水中ロボコン情報交換メーリングリスト

<http://groups.yahoo.co.jp/group/aqua-robocon/>