

## 水圧感応式自動採水器の試作

米 盛 亨, 細山田 省 二

### Trial of an Automatic Water Sampling System driven by Sensing Water Pressure

Tooru Yonemori\* and Shoji Hosoyamada\*

*Keywords* : Sensor tube, ball valve, self inversion, water interchangeability,  
heat insulation

#### Abstract

Water sampling is an important item of observation in Oceanography. In general, as in Nansen system, sampling bottle is inverted by sending a messenger weight to strike bottle holder, and the depth of water sampling is determined from the pay-out length and the inclination angle of wire rope while the calculation is troublesome and unreliable.

A new sampling system proposed in this report is composed of a sensor tube and a sampling bottle. The sensor tube reads the water pressure corresponding to the water depth, and at the appointed depth, the sensor release the bottle suspension to be inverted. Therefore, it needs neither sending messenger nor correcting water depth. Many kind of improvement in devices were repeated by the trial and error method, and finally the deviation was settled within five percent in water depth.

海洋観測において採水作業は重要な項目であり、Nansen式その他種々の採水器が用いられている。これらは船上から落すメッセンジャーの働きによって転倒するなどして、内部に水を封入し揚収される仕掛けになっている。

ところが、その採水深度はワイヤロープの傾斜角と繰出し長さより計算によって求められるので、非常に煩雑な作業となる。しかも、複雑な流向流速を内包する海中で、果して計算通りの深度で採水しているか甚だ疑問である。

こゝに記述する採水システムにおいては、センサ管のピストンを希望深度目盛に合わせるだけでよい。ピストンが水圧に感応して動くので、所定深度に達すると自動的に採水器を転倒させる。このように潮流や風の影響を無視できる採水装置を考案試作し、各種のテストを行ったのでその性能について報告する。

---

\* 鹿児島大学水産学部漁法学研究室 (Laboratory of Fishing Technology, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

### 実験方法

材料には入手の容易な市販品を用い、透明材料を採用して内部の動作確認と採水試料の性状観察の便をはかった。また金属部分にはステンレス鋼または銅合金を用いて、錆の発生とそれに基づく機構的摩擦の増大を防いだ。

装置は転倒式採水器とこれを設定深度で自動的に転倒させるためのセンサ管(水圧応式懸架装置)の組合せで使用される(Fig.1)。鹿児島湾での実験を念頭に置いたので、水深200mをメドに設計を行った。

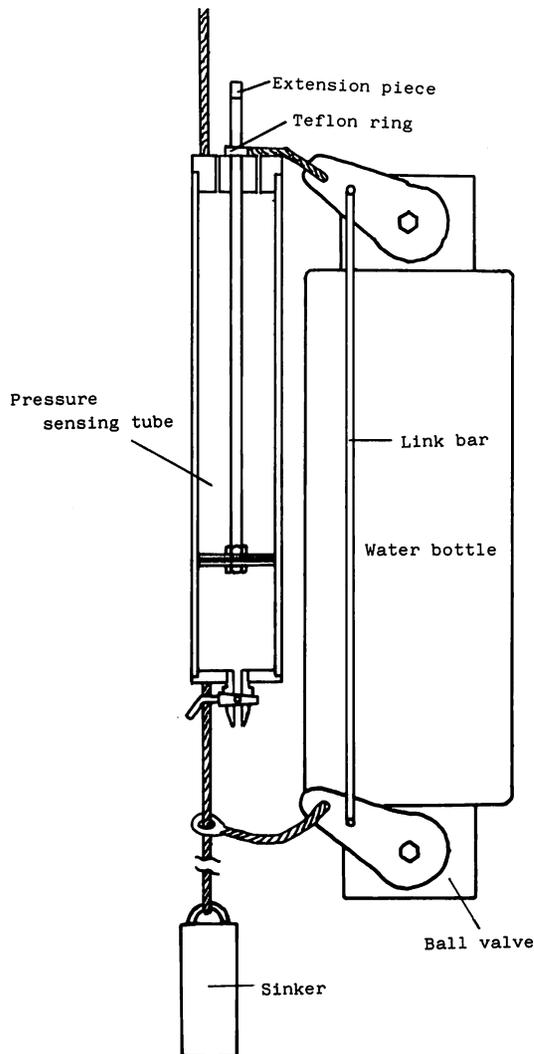


Fig. 1. Auto sampling system composed of two devices.

### I-1 センサ管の構造と作動原理

内径31mm外径37mm長さ250mmの透明アクリル管の一端をアクリル円板で塞ぎ, その中心に小型のコックを取りつける。直径33mmで厚さ1mmの黒色合成ゴム(ネオプレン)円板を直径28.5mmと30.5mmの1.5mm厚塩ビ板でサンドイッチしてピストンとする。これを直径5mmのステンレス鋼製ピストン棒の一端にナット付けする。シリンダの他端をテフロンカバーで閉じその中心にピストン棒を貫通させる。この栓には数個の小孔をあけてピストン裏側に水圧が加わる構造にする。つまり注射筒のようなものであるが, ピストンとシリンダとの嵌合はかなりルーズな方がよい。シリンダの外面に10mm間隔の目盛をつけ, ピストンの塩ビ板(30.5mm $\phi$ )がシリンダ底より20mmの位置にある時に, テフロンカバー上端と同じ高さになるようにピストン棒の長さを決める。なお, ピストン棒端は雌ねじ加工されているので, 接続片のねじ込みによって10mm延長できる構造である。接続片のない場合にはセンサ管は最大深度100m用となり20, 40, 60, … (mm)の目盛に0, 10, 20… (m)の数字が黒書される。また, 接続片を追加すると200m用センサ管となるから, 10, 30, 50, … (mm)の目盛には0, 20, 40… (m)の数字が朱書で記入される。次に, センサ管の作動原理について述べる。

センサ管の先端コックを開いてピストンを動かし, 希望採水深度目盛にピストン位置を合わせてからコックを閉じる。つまり, 1気圧の空気を所定の体積だけシリンダに封入したことになる。(なお追記すると, 先端コックからシリンダに通ずる孔部と, ピストン取付ナットの突起部は容積が等しいので誤差の生ずるおそれはない) 開放状態にした採水器のバルブハンドルを, テフロンカバーから突出したピストン棒に吊した状態で水中に沈めて行く。ピストンは水圧によって空気を圧縮しながら徐々に移動するが, ピストン棒がテフロンカバーに沈みこんだ時にテフロンリングが外されて採水器が転倒する。

### I-2 採水器の構造

Table 1に示したように種々のものを作ったが, Acryl No.2について説明する。容器部は内径65mm厚さ5mmの透明アクリル管で作られ, 容量は1ℓである。両端には厚さ10mmのアクリル板より削り出して勾配仕上げた鏡板を接着する。両鏡板に1½インチのボールバルブ(\*)をねじ込む。市販のボールバルブは0~90度で開閉するようにハンドルが設けてあるが,

**Table 1.** Principal items of water sampling bottles examined in the trial.

Name of bottle	Size of valve (inch)	Dia. of opening (mm)	Area of opening A (cm <sup>2</sup> )	Dia. of bottle (mm)	Area of bottle B (cm <sup>2</sup> )	Ratio A/B (%)	Capacity of bottle (l)	Total weight (kg)
Nansen	—	(48×14)	6.72	58.0	26.41	25.0	1.35	4.12
Acryl No.1	1	20.0	3.14	65.0	33.17	9.5	1.0	2.15
Acryl No.2	3/2	30.0	7.07	65.0	33.17	21.0	1.0	3.15
Acryl No.3	1	20.0	3.14	50.0	19.63	16.0	0.5	1.70
Brass No.2	1/2	10.0	0.79	55.0	23.75	3.3	0.5	2.95

\* ボールバルブの名称が一般的であるが構造的にはコックであり, ボールコックと名づけたメーカーもある。普通のコックと異なり円錐状活栓の代りに球状の活栓が組込まれている。またシート部がテフロン製のために, 滑りのよい割に密閉性は抜群である。

そのまゝでは使用できないので自作のハンドルと交換して、45度で開き135度で閉じるように角度変更を行った。最後に、ステンレス棒でリンク装置を作り、両端のボールバルブを連動させた。

## II 装置の予備テスト

実用試験に入る前に種々の予備テストを実験的に行った。その主なものについて述べる。

### II-1 センサ管の作動テスト

自作の水圧試験容器(胴体は15mm厚さの透明アクリル管)内の水中に、所定量の空気を封入したセンサ管を沈め、水面にコンプレッサで空気圧を徐々に加えて最高7気圧まで高めた。この際の水圧とピストン位置の関係、封入空気漏洩の有無、減圧時のピストンの復帰位置等について詳細に調べた。

### II-2 採水器の換水性能テスト

採水器の弁を開いて垂直に沈めて行く時、換水性能の悪い採水器では上層の水が混在して採水されることになる。この性能は容器と弁部の断面積比や形状に影響されると考えてよい。そこで、試作した数個の採水器に対照としてNansen式を加えて、比較テストを学部の大型回流水槽で行った。一定濃度の色素水(ローダミンB)を各採水器に満して水路内に設置し、流水の中で前後の弁を連動的に全開してから色素水が完全排出されるまでの時間を測定した。流速は0.5, 1.0, 1.5m/sの3段階とし、ビデオカメラで撮影して入念に映像解析を行った。

### II-3 採水器の断熱性テスト

海洋観測に水温測定は必須の項目であり、精密高価な転倒温度計等が使用されるが、本研究では簡易性を重視するので水温測定も採水試料によるのが望ましい。従って、採取した試料を船上に揚収する過程で起る伝熱を最小限度におさえる必要がある。容器をアクリルで作ったことはこの意味でも正解であるが、伝熱性にすぐれた2個のボールバルブが問題である。そこで、表面水温30℃、100m層水温17℃、巻揚所要時間を2分と4分という設定のもとに室内実験を行った。

## III 実用試験

前述の予備テストと併行してフィールド実験の機会を作り、実用上の問題点を早期に把握することに努めた。実験場として海上と湖沼を選んだので順を追って記述する。

### III-1 東支那海

学部練習船敬天丸(860トン)による漁業実習の合間にテストを行った。初期の作品であるBrass No.2型採水器を中心にテストし、同船のCTD記録と対比した。

### III-2 鹿児島湾内

学部練習船南星丸(90トン)で喜入沖の最深部(237m)を中心に実施した。船を漂泊させ同船の電動測深機で装置を垂下した。採水器はBrass No.2とAcryl No.1の2台を使用した。センサー管は共通である。採水層は100m以浅は10m間隔で、それ以深では20m間隔とした。

採水作業に併行して、南星丸の備品であるYSI 58型溶存酸素計(100mケーブル付)を投入して、水温と溶存酸素量を直接測定しその値をこの実験の基準値に採用しようとして計画した。

一方、採水作業で得られた試料は直ちに電気水温計(宝工業 DIGIMULTI D661 型)で0.1℃単位で测温され、次にYSI 57型で溶存酸素量を測定された。

### III-3 湖沼

海上では潮流のために鉛直垂下が難かしく、従って作動水深の確認が困難である。そこで、流れが存在しないと考えられる湖沼での実験を計画した。いくつかの湖を予備調査したが、池田湖は広過ぎて海に似た流動条件であり、鰻池は浅過ぎて不適合であった。そして最終的に宮崎県の御池(最深部101.4m)に決定した。風のない日を選んでゴムボートを浮べ、Acryl No.2採水器について入念なテストを行った。センサ管は南星丸実験時のものをそのまま使用した。今回は手動で垂下したので、索には曳縄釣用道糸50号にマーク付けしたものをを用いた。この実験の目的は、センサ管のピストン位置目盛に対応する採水器転倒水深の最終確認にあった。

## 実験結果と考察

### I 工作上的問題

工作設備と技術能力の不足から、接着剤使用に頼るなど不満な箇所も一部に見られたが、本質的な問題ではないと思われる。テフロンリング嵌合部の構造には大きな不安が持たれたが、工作精度をあげることで解決できた。

次に実験室で行った3種の予備テストの結果について述べる。

#### II-1 センサ管の作動テスト

水圧試験器内の水面に加える空気圧を徐々に高めると、ピストンはボイルの法則に従って移動した。当初はこの法則に従わない動きも見られたが、これはピストンとシリンダ間の摩擦が極度に大きいために生ずる誤差であった。本来、シリンダに封入された空気の圧力は常に周囲の水圧とバランスする筈であり、空気または水がピストン間隙を通して漏洩することはあり得ないので、ピストンの張りを強める必要は全くないわけである。この考察に基づいて最終的なピストン直径は前記の寸法に決定し、改良後は正しく動くようになった。また、封入空気圧が周囲の水圧と常に等しいことから、センサ管は深海でも圧壊される心配がない。むしろ、ピストンまたはピストン棒の摩擦が大きい場合にピストンの動きが拘束される結果、圧力のアンバランスによる破壊とピストン位置の誤差を招くことになる。ピストン棒貫通部のカバーを滑りのよいテフロン栓に変更したのもこの理由による。

#### II-2 採水器の換水性能

テストの結果をTable 2に示す。換水性能を色素水の排出所要時間で表現すると、Acryl

**Table 2.** The time required to discharge colored water from inside of sampling bottles with flowing water.

Name of bottle	Ratio of area (%)	Velocity of flow			Velocity × Time		
		0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s	(0.5)	(1.0)	(1.5)
Nansen	25.0	11.0 sec	7.4 sec	5.0 sec	5.5m	7.4m	7.5m
Acryl No.1	9.5	28.0	14.0	9.4	14.0	14.0	14.1
Acryl No.2	21.0	11.0	6.0	3.5	5.5	6.0	5.3
Acryl No.3	16.0	11.0	6.0	4.0	5.5	6.0	6.0
Brass No.2	3.3	51.2	25.5	16.0	25.6	25.5	24.0

No.2, Acryl No.3, Nansen, Acryl No.1, Brass No.2の順に成績がよい。また、換水性能を左右すると考えられる指標に開口部と容器部の断面積比があり、試作品ではこの比率の大きい順に色素水の排出が早いことが判る。ところで、この比率の最も大きいNansen式で換水性能が低い、その理由は開口部と容器部の断面形状が異なるという連続性の悪さにあると考えざるを得ない。

但し、この成績をもってNansen式を非難する積りはない。同式の通常の使用法では所定深度における転倒前の待機時間が十分に長く、その間に小刻みな上下運動を与えられるから十分に換水が行われる。これに反して、こゝに報告する自動転倒式においては垂下中に急に転倒するから、換水性能の向上は極めて重要な課題である。

Table2から、流速×排出時間で計算される距離(m)は、試水に混入するであろう上層水の範囲を示すと解釈してよい。そしてこの値は流速(垂下速度)に左右されない傾向が見られるから、採水器の寸法と構造によって解決せねばならない。カラービデオ映像で検討した結果、開口部・容器部ともに円形断面の場合でも、円筒容器の肩部に滞留する水が換水性能を害することが判った。換水性能向上のためには大型バルブの採用が望ましいが、円筒の肩部に傾斜をもたせることも有効と判断して、Acryl No.2とNo.3にはこの対策を講じた。

### II-3 採水器の断熱性能

採水器に17℃の水を満水密閉して17℃の水中に沈める。外側の水に温湯を徐々に加えることによって、2分間及び4分間で30℃に上昇させた時の封入水の温度上昇を測定したところ、Acryl No.2では2分間で0.8℃、4分間で1.4℃、Acryl No.3では2分間で1.1℃、4分間で1.8℃と極めて不満足な結果であった。そこで対策を次のように講じた。(1)ボールバルブと容器を連結するニップルをステンレス鋼から塩ビ製に変更。開口側の雌ねじにも塩ビのニップルをねじ込んでスリーブの代用とした。(2)ボールバルブの外周全体を断熱布(ウエットスーツの生地)で被覆。これらの対策をAcryl No.2に施して同様のテストを行った結果、2分間で0.4℃、4分間で0.8℃の上昇度に抑えることができ、実用的には合格と判定した。ちなみに、南星丸の電動測深機による140mからの巻揚所要時間は62.5秒であった。

## III 実用試験

海上で行った実用試験および湖で行った確認試験の結果について述べる。

### III-1 東支那海における実験

初期の作品であるBrass No.2とAcryl No.1についてテストした結果、設定深度に達しても転倒しない事例が続出した。そしてこの現象は重量の大きいBrass No.2において顕著であった。

原因検討の結果、採水器の重量によってセンサ管ピストン棒の動きが拘束されることが判明した。この時点までは採水器がひもの輪でピストン棒に直接掛けられ、大きな摩擦を生じていたからである。

### III-2 鹿児島湾における実験

III-1より10日後に行われた南星丸実験では、採水器がテフロンリングを介して装着されるように改良されたので、ピストンの動きは格段に円滑となった。こゝでBrass No.2という採水器について説明する。これは厚手の真鍮管で作られ、耐圧性が大きいので気水交換式の使い方もできる。Fig.2, Fig.3の説明で、(C→O)の際には採水器の両弁を閉じて垂下し、

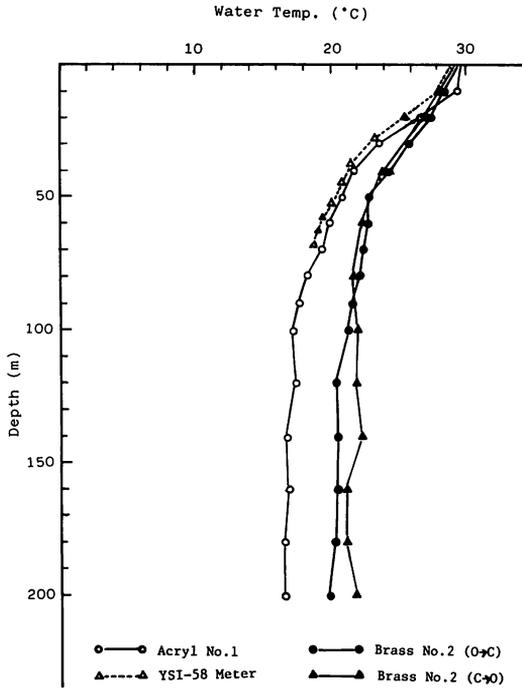


Fig. 2. Vertical distribution of water temperature in Kagoshima Bay on 21st Aug. 1987.

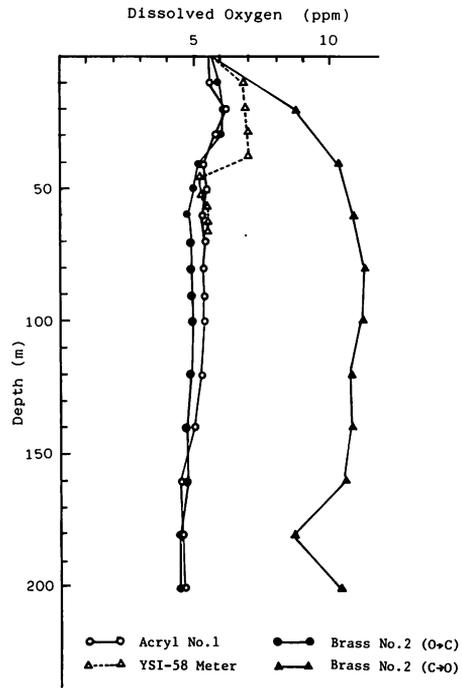


Fig. 3. Vertical distribution of dissolved oxygen in Kagoshima Bay on 21st Aug. 1987.

転倒によって弁を開く(転倒によって下方になる側にはフート弁を設けてあるから採水試料は保持される)使い方が気水交換式である。Fig.2については(O→C)(C→O)ともに同程度に高目の水温を示しているが、容器の伝熱性と小型バルブの採用による上層水混入が原因と思われる。Fig.3の溶存酸素量については極端に高い値を示すが、気水交換時の酸素溶け込みに由来する結果である。

これらのことから, Brass No.2は完全な不合格品として使用中止した。南星丸備品のYSI 58型溶存酸素計はケーブルが太いために流されて、必要な水深まで到達しなかった。傾斜角度補正の結果図示の曲線を得たが、これを基準値として採水試料による測定値を評論するには難点があろう。この実験では、採水器転倒の手応えを200mまで感触することができた。伸びの少ないワイヤロープを使用したためと思われる。なおこの実験中に100m以深からの採水を船上で取出す過程で、バルブを微開した時に試水が噴出する現象に気づいた。

これは、水深に応じて圧縮された水が採水器に充満して密閉状態で揚收されるが外圧の低下によって膨張するからであり、ボールバルブの密閉性の良さを示す証拠でもある。しかし、採水のためにアクリル容器が膨張収縮を繰返すことは破壊につながる。そこで、バルブを分解し中間に厚さ0.5mmの銅板ライナーを挿入して滲む程度の漏洩を許すことにした。

最後に、Fig.4は鹿児島市海釣公園における転倒水深確認テストの結果であるが、採水装

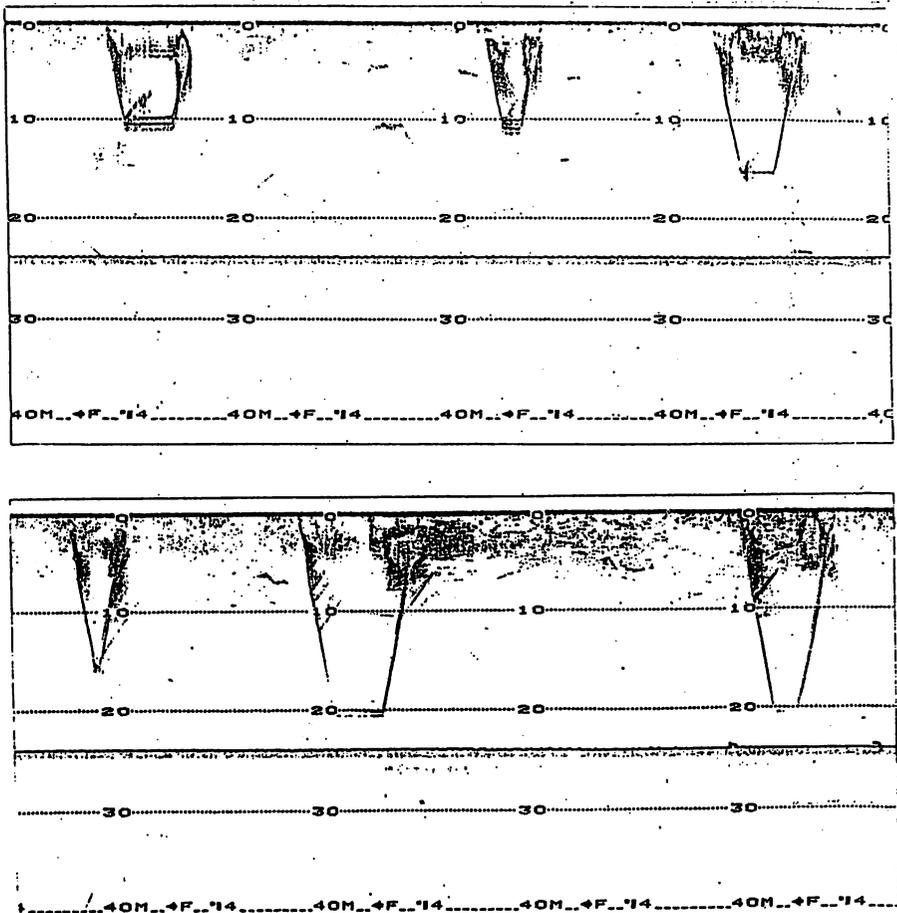


Fig. 4. Record of echo sounder showing the depth of inverted water bottle.

置の概ね正確な作動を魚深記録が裏づけている。

### III-3 御池における確認試験

御池は霧島山系東側の山裾にある直径約1kmでほぼ円形の静かな湖である。テスト対象の Acryl No.2はこれまでに述べた総ての改良策を施された自信作である。水深100mまで10m間隔の採水を3回繰返して Table 3 の結果を得た。これによると、ピストン位置に対応する予定深度より若干早目に転倒する傾向が見えるが、その原因には湖の標高 (305m) に基づく気圧の低下が考えられる。この標高では約980mbが標準気圧となるので、補正係数として (980/1013) を設定深度に乗ずれば4~5%の誤差は殆ど解消される。

### IV 実用上の課題

試行錯誤に基づいて改良を重ねた結果、Acryl No.2 に至ってほぼ満足な性能に達したが、まだ以下に列挙するような課題も残されている。

#### 1 装置の構造に関する問題

**Table 3.** Comparison between piston presetting of sensor tube and actual depth of bottle (Acryl No. 2) inversion in the trial at Lake Miike.

Height of piston preset (cm)	Proposed depth of inversion (m)	Corrected depth by atmosphere (m)	Actual depth of inversion				Mean error (%)
			①	②	③	mean	
2.0	10.3	( 9.96)	9.8	9.9	9.9	9.87	4.2(0.90)
4.0	20.7	(20.02)	19.9	19.8	19.8	19.83	4.2(0.95)
6.0	31.0	(29.99)	29.9	29.8	29.6	29.77	4.0(0.73)
8.0	41.3	(39.95)	39.8	39.7	39.6	39.70	3.9(0.63)
10.0	51.7	(50.01)	49.6	49.4	49.5	49.50	4.3(1.02)
12.0	62.0	(59.98)	59.3	58.9	59.0	59.07	4.7(1.52)
14.0	72.3	(69.94)	68.6	68.9	68.8	68.77	4.9(1.67)
16.0	82.6	(79.91)	78.6	79.0	78.1	78.57	4.9(1.68)
18.0	93.0	(89.97)	89.2	88.4	88.1	88.57	4.8(1.56)
20.0	103.3	(99.93)	98.0	98.2	97.8	98.00	5.1(1.93)

センサ管と採水容器の2部から構成されているが、その結合部の構造に何らかの改良が望まれる。現在の構造でも失敗はないが、そのためにはテフロンリングの工作等に高い精度が要求される。

## 2 実用水深の限度

理論的には採水深度に制限はない筈であるが、次に述べる種々の理由によって深海では誤差が大きくなる。

### (1) センサ管の長さ

10mの水深変化に対応するピストン移動距離が10mm程度であれば、目盛合わせが容易で誤差も小さいが、この割合で例えば1000m水深用になればセンサ管長が1m以上となって実用上の支障を生じる。

### (2) 環境条件に由来する誤差

気圧や温度または水の比重などの違いを無視しても、水深200m程度までは実用上の支障はないが、それ以上に深くなると様々の問題が表面化してくる。例えば、現在は封入空気の容積変化をボイルの法則だけで処理しているが、深海で水温が大幅に低下するとボイルシャルルの法則による補正が必要となり、この採水システムの特長である簡易性を害する。

### (3) 転倒水深の確認

湖沼での水深確認は、転倒のショックを感じた時の繰出し線長の読み取りに頼っている。センサ管より解放された採水器は転倒しながら約0.5m滑り落ち、下部の錘でストップしてショックを増強する構造である。この手応えは静かな湖では水深100mでも十分に感知できるが、海上ではラインの傾斜や船体動揺の影響で確認が困難になる。50~200kHzの魚深による探知も100mが限度と思われる。

### (4) 作業能率の低下

この採水器は原理的に各層同時採水が困難である。1回につき1層の採水しかできないから、

深度を増すに従って所要時間が長くなり作業能率の低下につながる。

## 要 約

潮流や風に左右されずに設定水深で自動的に転倒する採水器を、操作の簡易性に重点を置いて試作した。試行錯誤と改良作業の連続の結果、Acryl No.2に至っては、満足すべき性能を得た。以下にその特徴について述べる。

- (1) 原理的にケーブルの傾斜補正とメッセンジャーの投下が不要になる。
- (2) 透明プラスチックの採用によって、軽量で断熱性にすぐれ内部の観察に便利である。
- (3) 総べて市販材料を用いるので手軽に作れる。
- (4) 特別に動力を必要としないが、バッテリー駆動の魚釣り用線長計付き電動リールを使用すれば、スピードアップと労力節約がはかれる。なお、釣竿を使用すれば転倒時の手応えを増巾することができる。

前述のように、採水深度を増すに従って種々の問題点の表面化が予想されるが、200m 以浅では非常に良好な作動を示した。従って例えば赤潮の鉛直分布のような沿岸域の環境調査に利用すれば、有力な武器となり得るであろう。

最後に、工作設備の使用に便宜を賜った本学部技官高岡勝義氏に厚くお礼申し上げます。また、海上実験に当たって御協力をいただいた本学部練習船敬天丸の湯脇泰隆船長、同じく南星丸の柿本亮船長以下両船乗組員各位に対して深甚の謝意を表す。