

長時間採水器とその活用に関する研究 (第 I 報)*

採水の方法とその要点

黒木敏郎・野沢治治

Studies on the Water Bottle for Continuous Sampling and
on its Utility — I.

Theoretical Idea and Practical Points for Water Sampling

Toshiro KUROKI and Koji NOZAWA

In the investigation of marine phenomena on a bay or an inshore in where water temperature, salinity and etc. are changing with the tide, an instant sampling water by reversing bottle may be able to show the only datum on one point at that instant. The datum is not always a typical value in the point. Then, many data by oftentimes sampling are needed to get the average value correctly.

The authors projected the apparatus to sample sea-water continuously for long time (12~36 hours) by means of laminar flow in a capillary.

When, in Fig 2, H (cm) is pressure head; l (cm), length of capillary; d (cm), inner diameter of the one; ν (cm^2/s), kinematic viscosity of sea water; Q (cm^3/s), sampled volume; then

$$Q \approx 25.1 \times H \cdot d^4 / (\nu \cdot l)$$

Using $d=0.050\sim0.125$ cm and $l=5\sim15$ cm, Q (cc/s) against H (cm) is shown in Fig. 1. To sample approx. 500cc of sea-water per day by $d=0.05$ cm, it is known from this figure that $l=5\sim10$ cm and $H=3\sim7$ cm must be used.

Under the theoretical condideration, they examined various types of water bottle for the utility of this idea. The results of experiments with (I)-type and (III)-type (in Fig. 3) are shown in Fig. 4 and 5 respectively. It was very difficult to adjust the pressure in the bottle for a regular sampling. Because the apparatus was set up and down in rough sea, sea-water had been poured into the bottle through an air out-let (bubbling) pipe. Then, water sampling was damaged by the contamination of unexpected water.

On the purpose of checking the reliability of this apparatus, the calibrating test was carried on with (IV)-type (in Fig. 3) in the sea-water tank (salinity was changed artificially). The result of this test was shown in Fig. 6.

The authors finished the experiment of continuous sampling with (V)-type in the tank. The last apparatus (bubbleless water bottle) can be used even in rough sea, and, in spite of the decreasing of H (cm, head), this bottle will be the most useful in the point of its reliability.

1958, 日本水産学会全国大会 (新潟) 講演発表.
1959, 同 全国大会 (堺) 講演発表.

I. 緒 言

水産に関連して海湾湖川の水質や水温などを調査する場合、従来我々は顛倒採水器等を用いて某空間点某時間点の瞬間値を知る手段を採用して来た。空間的（水平的・垂直的）にも時間的にもよく安定した海況ならば相当に疎な時空点測定でも充分事足りるのであるが、湖沼での水層反転混淆の時期における測定だとか潮汐流や河水流入により変動し勝ちな内海湾奥の水界などにおける測定だとかになれば、数少い時空点の観測結果を以てしては全体的な状況を正しく把握する事がなかなか困難になる¹⁾。殊に測定値の変動範囲が大きい場合にはその困難さが増大するだけでなく現象の判断に誤りを犯す虞れすら生ずるのである。

その見方からすれば、水温や塩分の測定に時間的な又は空間的な連続性を持たせたい要求が生ずるのは当然であつて電気水温計（サーミスターを含む）などが最近活用されるようになった事は誠に喜ばしい傾向である。

所で塩素量・酸素量・ビタミン B₁₂ のような物理化学的もしくは生化学的要素については、その測定の方法上の問題や本質的な問題からしてそれらの連続測定が困難視又は不可能視されている現状にある。勿論沢山の労力や莫大な器材・船舶を駆使すれば連続観測に近い資料が得られる筈ではあつても現実がそれを許さないものと解すべきであろう。

そこで筆者等は、刻々の瞬間値を観測する困難さを避けむしろ長時間の平均値として測る事を考え、これらの物理化学的生化学的要素の変動値を均らした値として測知する方途を考えた。真の連続測定法と比べればむしろ後退した手段とも思われるが、時空的変動量の大きい要素の一時間点一空間点測定値のみで事象を判断するよりもそのような変動を繰り返すその一周期に亘つて採つた平均値の方が遙かに合理的でもあり事象判定に有用でもあると信ぜられるからである。

上の目的にそう採水器は、例えば潮汐干満の周期 12 時間乃至 24 時間に亘る連続性を有し、多水層（各水深）多地点に投入されて同一期間内の採水に適しなくてはならないので簡素且安価であらねばならない。我々はこれを層流毛細管活用法で試験して信頼すべき結果を得る段階に達することが出来た。

発表するに当り、実験の各時期に適切な示唆助言を下さつた本学柏田教授・柿本助教授・高橋助教授、並びに実施に際して協力を惜まれなかつた本学練習船しろやまの高橋船長以下各乗組員及び関係研究室員・学生諸君に対して深甚の謝意を表する次第である。

II. 毛細管と採水量

上述のように長時間（数十時間まで）の連続採水を簡便に行うためには適当な毛細管を用いて採水瓶内への流入量を制御するのが最良の方法であろう。塩分も水温も水の粘性を左右する重大な素因であるが、湾内の海水等では高温高塩分水と低温低塩分水とが入替る場合が多く、塩分と水温との粘度に及ぼす影響は互に消し合つている（従つて流量には有効数字下位 4 桁目で利く）という事実や水圧も常用水深迄の程度では粘性に大きな影響を及ぼさない事など念頭に置いて、次の計算では普通の海水の程度で之を進める事とする。所望採水量の点では大幅な誤差も許されるが粘度の微小変化は塩分などの時間平均値の精度に関係するから充分に留意せねばならない事勿論である。

今内径 d cm, 管長 l cm の毛細管で水圧差 H cm が掛つた時管内の流速 v cm/s を生じたとすれば次式が成立する。

$$H = \tau(l/d)v^2/2g \quad \dots\dots\dots(1^*)$$

ここで $g=980$ cm/s², τ は流体摩擦係数であつてレイノルズ数 Re が $Re < 2320$ (つまり層流) の場合大体に於て $\tau = 64/Re$ と見做される。海水の動粘性係数を ν cm²/s とすれば管内流では $Re = v \cdot d / \nu$ であるから

$$\tau = 64 \cdot \nu / (v \cdot d) \quad \dots\dots\dots(2)$$

②式を①式に入れて整理すれば

$$H = 32 \cdot \nu \cdot l \cdot v / (d^2 \cdot g) \quad \dots\dots\dots(3)$$

一方この毛細管を通過する海水の流量 Q cc は次式で与えられる。

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot v \quad \dots\dots\dots(4)$$

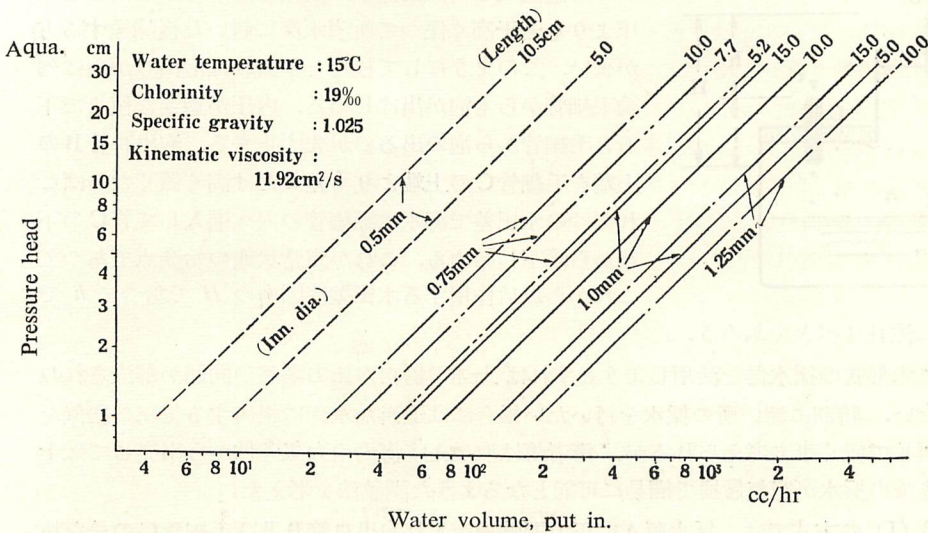
③式と④式とから v を消去すれば

$$Q = \pi \cdot g \cdot H \cdot d^4 / (128 \cdot \nu \cdot l) \\ \approx 25.1 \times H \cdot d^4 / (\nu \cdot l) \quad \dots\dots\dots(5)$$

即ち採水量 Q は水圧差 H に比例し毛細管内径 d の4乗に比例し、管長 l や粘性(動粘性係数 ν) に反比例する事を知る。

Fig. 1 は管長 (5~15cm) と管内径 (0.5~1.25mm) について水圧差 H cm を縦軸に一時間当り採水量 Q cc/hr を横軸にとつて画いた計算線である。但し、計算には密度 1.025 の海水の 15°C における動粘性係数 $\nu = 11.92$ cm²/s を用いた。

Fig. 1. Relation between pressure head and water volume (Capillaries: inner dia. 0.5~1.25 mm, length 5.0~15 cm).



* 計算が正しく成立するためには、流れの管内速度分布が抛物線的に安定した流れになるまでの長さが必要とする。この長さ l' は $l' = 0.065 \cdot Re \cdot d$ で与えられるので、例えば内径 0.5 mm の管では約 4 cm 以上の長さを使用せねばならない。

これによれば、18~24 時間に約 500cc を得るためには内径 $d=0.5\text{mm}$ の毛細管を用いて管長 $l=5\sim 10\text{cm}$ 、水圧差 $H=3\sim 7\text{cm}$ 程度とすればよい事を知る。Table. 1 には主として用いた 0.5mm 級の毛細管の実際値を掲げる。

Table 1. Capillaries used.

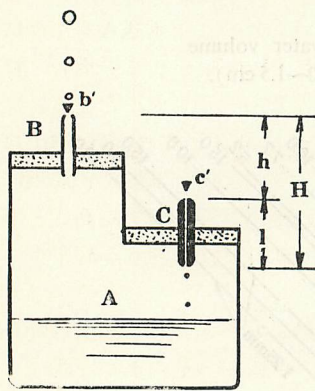
Dia. (mm ϕ)	Length in cm	
0.54	5.3	Total : 15
0.55	5.0, 7.5, 8.5, 10.5	
0.57	7.5, 7.5	
0.58	5.3, 5.3	
0.59	5.3, 7.5, 10.5	
0.607	10.5	
0.61	7.5	

Hg (0.1~0.15gr) was filled in a capillary (length; 2~3 cm) and measured to calculate its inner diameter.

III. 実験の器材と要点

毛細管を用いる長時間採水器では、容器と泡の出口と毛細管とがあれば一応の要素は揃うのである。Fig. 2 においてAは採水瓶、Bは泡の出口管、Cは採水流入の毛細管を象徴する。瓶Aの内側の気圧（特に触れるまでは単純な空気が閉じ込められていると想定しよう。）と外側の海水圧とがほぼ平衡している状態で栓 b' 、 c' を抜いたとする。この際外部圧力が内圧よりも高ければ海水が一度に泡出口管からも逆流して連続採水の誤差を生ずるから内圧を外圧よりも若干高く保つて所望水深に置いた後開栓する方がよい。このようにして栓をとり去れば泡出口からは勿論毛細管からも泡が出はじめる。内圧が適当な値まで下ると毛細管から泡の出るのが先ず止まる。泡出口管Bの上端を毛細管Cの上端よりも差 h だけ高く置くならばこれだけの水圧差で海水は毛細管の内へ進入して管Cの下端から滴下し始める。これが定常状態の始発点であつてこれから以後作用する水圧差は図中の H であつて h で

Fig. 2. Illustration of continuous sampling water bottle.



ない事に注意すべきであらう。

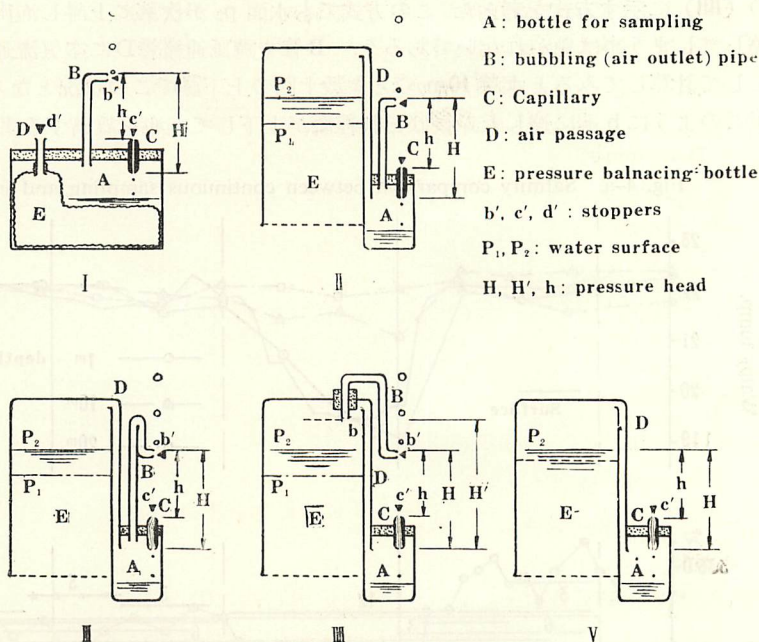
実際に本形式の採水器を活用しようとすれば上述の器内の圧力調整の問題が解決されねばならない。特別に深い所の採水を行いたい場合には適当な水深に相当する気圧の空気を予め充填して置く事も考えられるが、筆者等は取敢えず海面の大気条件から出発して数十m水深までの採水が空気置換で簡易に可能となるような調整法を考えた。

Fig. 3 (I) の方式では、採水瓶Aに圧力調整袋を入れ泡出口管B及び毛細管Cの栓を抜く前に袋の入口孔Dの栓を抜けばその水深での水が袋の中へ進入し瓶内の圧力が外部の海水圧力と等しくなる所で平衡する。その後でB、C両管の栓を抜けばFig. 2 に於けると同様な基本形となる。

次章で述べる高須沖実験結果

(Fig. 4)はこの方式(I)で行つたものであるが、水深の大なる場合圧力調整用の袋(ビニール製、圧力を担うために外を綿網で掩う。)が破けたり孔があいたり完全に展開しないため調圧不充分だったりして、水深10mでは約23%の、又20mで約54%の失敗例が見られた。尤も採水瓶の満杯になつて

Fig. 3. Actual 5 types of water sampling method.



いるものを失敗と見做したので、そのうちの若干は調圧袋以外の故障も含まれている。亦(I)の方式では採られた資料水を他の瓶へ移すのにも不便を感じたので採水瓶Aを小型にして別に調圧瓶Eを設けてみた。この方式がFig. 3の(II)に示されている。この場合、栓b', c'を嵌めたままで所望の水深(水深の大小に従つて調圧容器Eの容量も大小とする)に沈めると水面はp₁まで上る。調圧瓶E並に採水瓶Aの容積をよく計算してp₁面が泡出口管Bの上端より僅か低い所に来るよう調整し且EとA、BとCの夫々の相関高さを適当に採らねばならない。次に栓b', c'を抜くと調圧瓶E内の水面は泡出口管Bの上端高さと同じ高さの水面p₂まで上昇する。その後が基本状態になつて毛细管Cから海水が滴下しつそその量だけの泡がBより立ち昇つて行く。

所がこの方式(II)にも欠陥が認められた。何かの理由*)で水面p₂が上昇して泡出口管Bの上端を超すと海水がこの管から逆流して瓶内へ入り始める事である。そのような瓶はすべて満水し、揚げた時には長時間連続採水したものか否か全く判定がつかなくつた。

そこで泡出口管の上部を曲げその曲がり点より相当下に出口端を置いて方式(III)とした。これを用いて得られたのが次章脇田沖実験の結果(Fig. 5)である。この場合実験開始後の6時間半の頃台風圏内に入り、管の折損やゴム栓はずれなどの故障を含め9割以上の瓶が満水してしまつてた。すなわち波浪のために浮子が上下し瓶が浅く(水圧が低く)なると泡が出て瓶が深く沈むとp₂面が上り、これを繰り返して曲がり管高さをやがてp₂面の高さが超えてしまい結果としては方式(II)と同様になつてしまつたものであろう。

*) 1959年8月末より9月初めにかけて鹿児島湾内各点の海況観測と同時に試みたが、全瓶失敗したので次章実験結果には掲げ得ない次第である。この際の理由としては潮流のため瓶が押され吊り紐に傾斜が生じて水深水圧に変動が起りこのp₂面上昇を来たしたものではないかという事が考えられる。

そこで更に、泡出管より一時的に海水が逆流して来ても採水瓶へ混入しないように Fig. 3 の (III) に示す方式を考えた。この方式でも水面 p_2 が次第に上昇し泡出管 B の内側端 b に達してしまう事は免かれないであろう。B 管や調圧連絡管 D に空気流通の摩擦抵抗が無いとして計算してみると水深 10m のとき数十回の上下動でこの状況となる。しかし、水面 p_2 がこのように b 端に達した以後はどれ程瓶が上下しても泡を放出する事は無いからここで

Fig. 4-a. Salinity comparison between continuous sampling and instant ones.

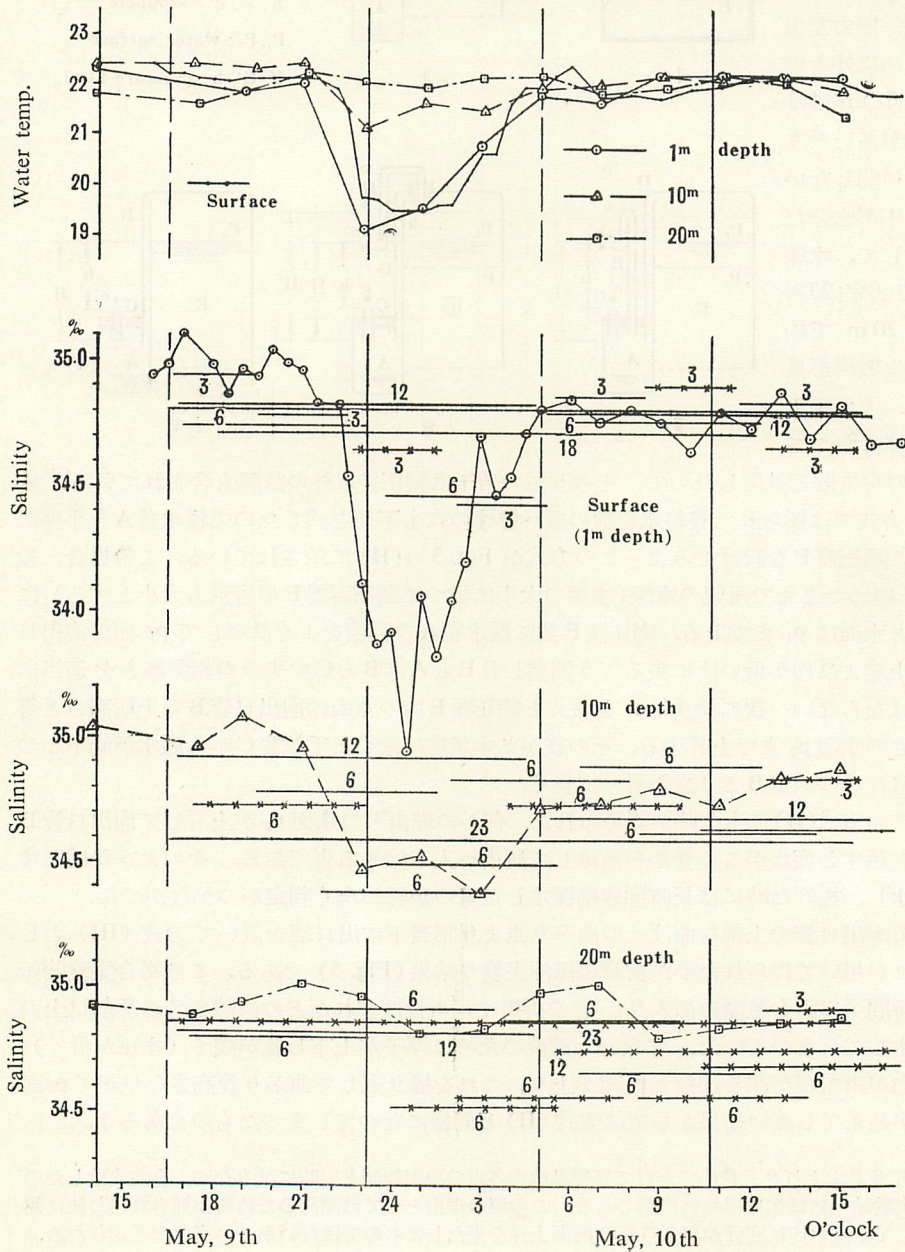
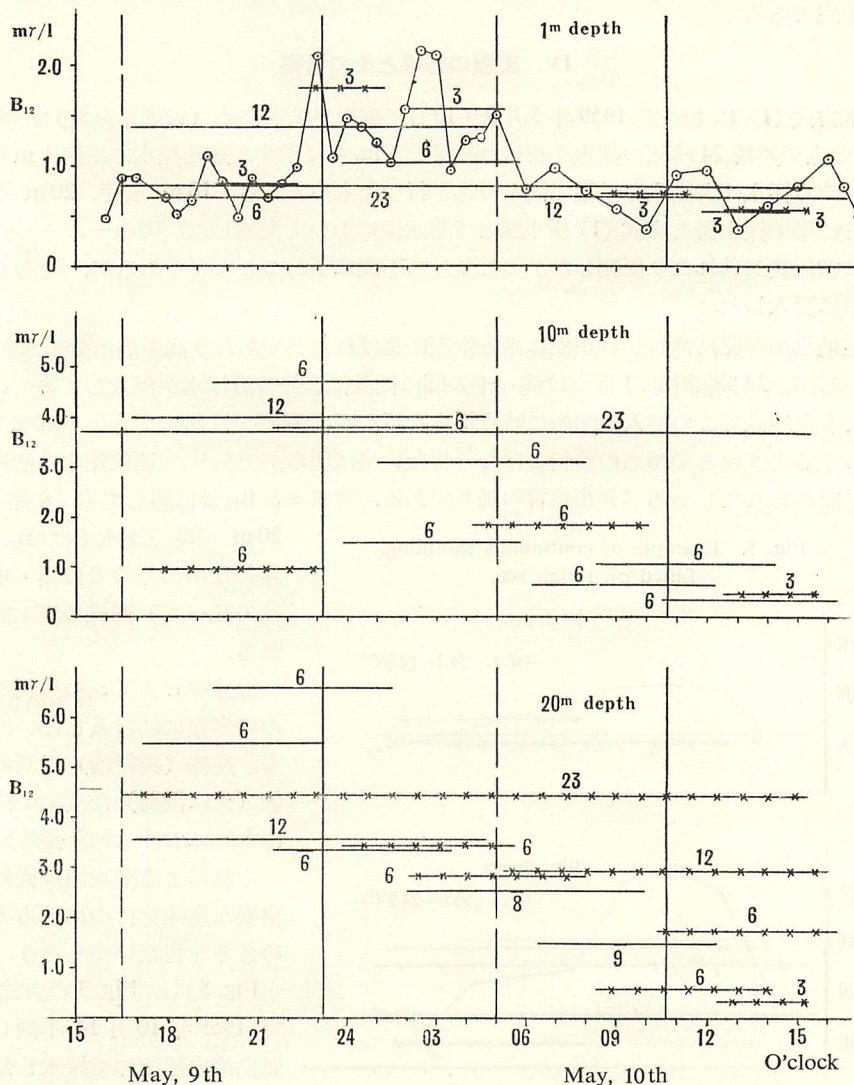


Fig. 4-b. V-B₁₂ comparison between continuous sampling and instant samplings.



採水の模様は一応安定しこの状況下では採水瓶への流入（毛細管よりの）はもとの水圧 H でなくて図中 H' なる水圧の差で行われる事となる。それまでの段階でA内へ流入する単位時間当りの採水量は時間的に変化する事にもなり、亦上の状況に達した時刻が明確には把え難いという事もあるので資料に誤差を生じ易くなるのは必然であろう。従つてこの方式 (III) は水圧差 H の状態範囲で基礎実験に利用するにとどめた。

結局最後に考察したのが Fig. 3 の(V) に示す方式である。これは水槽内で $\pm 45\text{cm}$ の上下動を多数回繰り返して実験観察した所でも上述のような欠陥を全く生じなかつた。EやAの各瓶の内容量や使用すべき水深に相当な厳密さを要求され、且水圧差 H に若干の減少を来たすという欠点はあるけれども、これらは計算や採水後の補正が理論的に利く範囲で

あるから我々は近い将来この方式を活用して再び荒れた(又は急潮流の)海で実用試験を行う予定である。

IV. 実験の結果とその考察

前章方式(I)によつて1959年5月9~10日、鹿児島湾内高須(大隅半島側)の沖水深25mの点で連続24時間の採水を行つた結果をFig.4に示す。連続採水は表層1m水深で行い、時点採水は表面水を手桶で汲んで之を行つたものである。10m水深、20m水深については顛倒採水器と方式(I)採水瓶とで等水深において実施した。図中—×—×—印のものは調圧袋が破れたり展開しなかつたりして不調に了つたものであるが、そのまま測定値中に記入した。

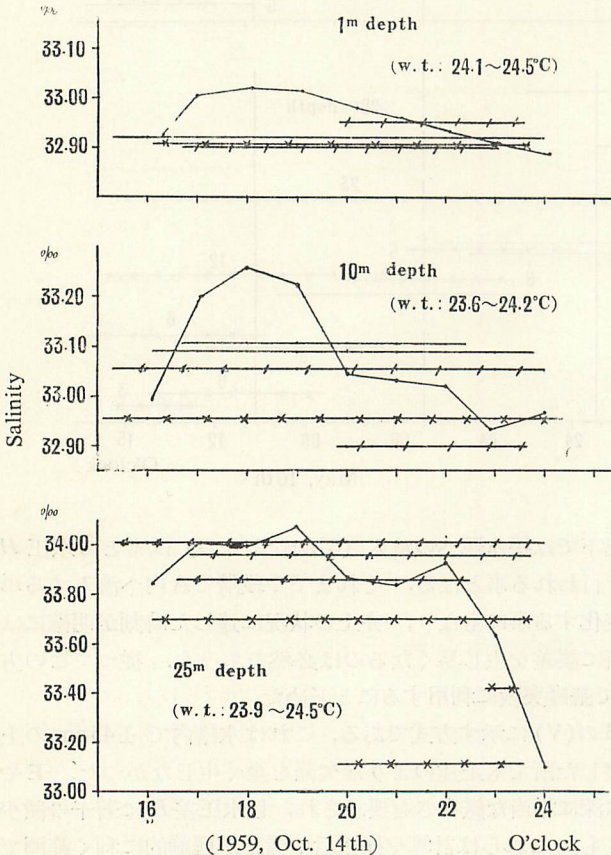
測定地点が鹿児島湾口から正面に当る位置に選ばれた為であろう高温高塩分の水が卓越しているが、24時間中に1回だけ満→干の間に低温低塩分の沿岸水が混入して来ている。このような地点でこの混入時間内に時点採水を行えば、真実ではあつてもその時季その日を代表するようなその地点の資料とはなり得ない事は明らかであり、連続採水の活用性が大いに認められてしかるべき事緒言の通りである。ビタミンB₁₂量についても(水深10m、

20mの時点採水ではB₁₂を測定しなかつたので表面・表層だけで比べて)同様の事が認められる。

塩分やビタミンの資料そのものの考察には言及しないけれども、連続(純継続)観測の不可能(又は困難)な要素の検討には本論における如き長時間採水とそれによる平均値の資料とが重要な意味を持つに至る事を認めざるを得ないであろう。

Fig.5にはFig.3の方式(III)で1959年10月14日同じく鹿児島湾内脇田沖で採水した結果を示す。前にも触れたように、18号台風の接近によつて急に波浪が高まり練習船しろやま(約20トン)の碇着不安となつたので、36時間連続採水の予定計画を放棄して全採水器を6~8時間内に引きあげてしまつたものである。ロープ網で掩つた2ヶの瓶玉浮子が衝突破損する程の波浪を受けたので採水瓶の栓が

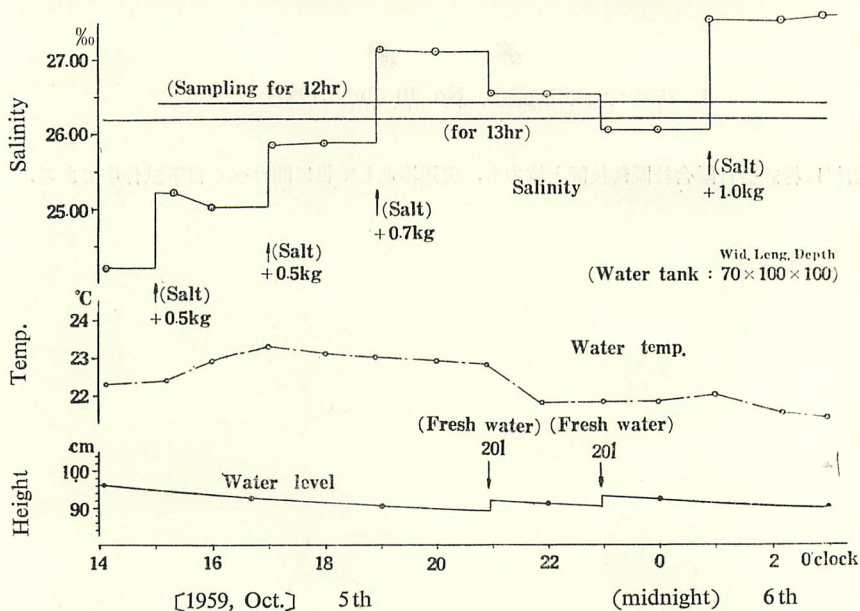
Fig. 5. Example of continuous sampling, failed on rough sea.



抜けたりガラス管(B, C)の折損したりしたものが多く生じたのでこの分には—/—/—印を用いて示した。—×—×—印は前章に述べた方式(III)の欠陥を露呈した分であつて23時以后に揚げたものは殆ど全部これに含まれている。

Fig. 6には方式(III)を用い、陸上の水槽(深; 100cm, 幅; 70cm, 長: 100cmの内容積)に海水を満たしその中で瓶をしばしば上下しつづつ行つた基礎実験である。時点採水は連続採水器の毛細管Cの入口附近の水をサイフォン式に吸出して之を普通のやり方で検定した。

Fig. 6. Salinity, continuously sampled in tank, for checking.



食塩を添加したり水道水を追加したりして塩分の変化を図りその都度充分に攪拌したのであるが、変化を与えた直後に測つた時点採水の塩分値と約一時間後の中間測定時の値とが一致して居ない事もある。これは水温の影響や比重の関係で層が生じたりした為と考えられる。

それにしても図から判るように連続採水の結果は各時刻の時点採水の12時間平均値と±0.01%の誤差で一致して居る。これは塩分変動値3.63%の0.3%以下であり測定法の許容誤差の程度でもあるから漁況や水質汚濁の現象を判定するには充分役に立つ精度と見做してよいであろう。

V. 結 論

以上述べた程度の長時間(連続)採水器では、例えば酸素溶存量測定には流動パラフィン浮かばせて置かねばならないとか、ビタミンB₁₂測定にはトルオールを予め瓶内に少量入れて置くとか、目的とする観測要素によつて幾多の改良を施さねばならないし、又時間当りの採水量も別途に得らるべき水温の連続測定資料により之を補正したりせねばならないであろうが、多くの空間点で多くの時間点について採水するのに必要な船舶・人員・器

材・消耗品（硝酸銀など）の量に比べると遙かに僅少なそれらの量でより妥当な資料を得られるものと信ずる。即ち、測定したい点の任意の水層にこのような採水器を何箇でも浸漬して置き、18時間とか、24時間、36時間とか経過した後各点に船を走らせて器材を収納し採水をおこなつて廻れば事足りるからである。

Micro な海況や漁況を調査したり、水質汚濁の影響やノリ場での施肥効果等を検討したりするには最も労少くして功多き方法を提供する器材であると信じてここに発表する次第である。諸賢の御批判や御叱正を得て更に有用な採水器へと発展改良させられるようしてこのような器材が一日も早く実用普及されるよう期待して本報を結ぶ事とする。*)

文 献

1. 花岡：水産増殖叢書，No. 10 (July, 1955)

*) 本器材は株式会社離合社岡部技師と協力し、実用器として世に問うべく目下試作中である。