

連続自動水質分析装置の開発とこれによる沿岸部海域の環境調査

倉品昭二*・菱田昌孝**・上野義三*・井本泰司*

AN INVESTIGATION OF THE COASTAL ENVIRONMENT WITH
A CONSECUTIVE-AUTOMATIC ANALYZER (C.A.A.)

Shoji Kurashina*, Masataka Hishida**, Yoshizo Ueno* and Taiji Imoto*

Received 1978 September 18

Abstract

Since the environment of the sea in the coastal regions has been changing with the rapid and large scale development of nearby industrial areas, the actual condition of the sea has begun to attract public attention, because of its nutritious chemical substances. The Consecutive-Automatic Analyzer (C.A.A.) was devised to analyze the components of the dissolved phosphates, as an indication of the conditions of marine ecology and pollution. It is designed to operate automatically in accordance with a preset schedule, such as engine start, precalibration, measurements, postcalibration, water conduit cleaning, engine stop and repeat. Observation was carried out from November 9 to December 10 1976 and from August 22 1977 to February 11 1978, by installing the C.A.A. on an unmanned catamaran bouy anchored off Yokosuka.

A salinometer, a thermister thermometer and a current meter were also fixed to the bouy. Sample water for the C.A.A. was pumped up every four hours from depths of 0 m and 10 m. The other measurement devices were submerged to a depth of 12 m.

The results of observation shows that the phosphate concentration depended strongly on the river discharge in the western part of Tokyo Bay. In general the phosphate concentration increased to the shoreward, and became temporarily greater after rain fall in the hinterlands. Concerning vertical distribution, the observed value of the phosphate concentration in the 10 m-layer was higher than that of the surface layer during the summer and early autumn. After late autumn the concentration in the 10 m-layer became similar to that of the surface layer due to the disappearance of the seasonal thermocline. The phosphate concentration seems to be inversely interrelated with the salinity. An interrelation between phosphate concentration and tidal current could not be definitely concluded due to the complication of the current in shallow water. From the results obtained we can say that a continuous measurement of a nutritious chemical substance, such as phosphate, is useful for monitoring the quality of the water and detecting future trends.

* 海象課 Oceanographic Division

** 環境庁 Water Quality Management Division, Environment Agency

1. まえがき

現在、沿岸海域の開発は急速かつ大規模に進められており、これに伴って海洋の環境も次第に悪化の傾向をみせているが、この海洋環境を保全しつつ自然条件と調和した開発を図るためには、早急に沿岸海域の環境変化機構を明らかにしておく必要がある。このため本研究では、海洋生物や海洋汚染の指標として利用できる溶存栄養塩のうちりん酸塩 ($\text{PO}_4\text{-P}$) に着目し、海水を自動的に一定時間間隔で採取し、りん酸塩濃度を分析記録する自動水質分析装置を研究開発し、これをブイに備え付け海上で長時間連続観測を実施した。更に海水の潮流による変動や陸水、外洋水の影響などを含めた流動機構を知るため、流向・流速・水温・塩分の各自動連続測定装置を併設するとともに、観測船によるブイ周辺海域の比較観測を実施して、観測ブイの測得値と周辺水域との関連性について調査した。

この装置の開発や観測は、昭和50年から52年までの3年間にわたって行なわれたが、この実施の概要は次のとおりである。

第1年度には分析装置を搭載するためのブイ本体の設計と製作、及びこれを洋上に係留するための錨鎖・沈錘等の製作に当たった。

第2年度には自動水質分析装置の製作とブイへの組込み、水質観測ブイ（以下ブイに分析システムを取付けた状態を「水質観測ブイ」と略称する）の横須賀沖への設置・観測・揚収、及び観測船による比較観測を実施した。

第3年度には水質観測ブイに流向・流速・水温等の観測機構を付加し、これを横須賀沖に設置し連続観測を実施するとともに、測量船による比較観測及び保守見廻り作業を行ない約6か月間測定した。

2. 水質観測ブイ

(1) 水質観測ブイ本体の製作

測定装置を格納するためのブイ本体の製作に当っては、沖合に長い期間係留するため、高波やうねり、小型船舶の係留、衝突等による破損や流失の防止について対策を講じておく必要があったほか、分析機器の精密性からブイの姿勢の安定、室内温度の急激な変化の防止が必要であり、さらに発電機用燃料の格納、分析後の廃液貯蔵にも安全を期しておかなければならず、多くの計器類を格納するためと作業のために、十分な面積の保有もまた不可欠の条件であった。

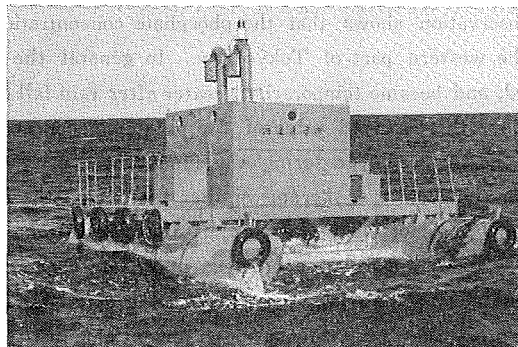


Plate 1. View of the Consecutive-Automatic Analyzer (C.A.A.)

これらの多くの問題点から、ブイの型は Plate 1 及び Figure 1 に示すとおり双胴型とし、約 6×7m のデッキ中央に高さ 2.1m、縦 3.1m、横 2.5m の四角のハウスを設け、ハウス内の半分に発電機及び換気装置を、

他の半分に分析装置・制御部・記録部等を格納した。ハウス上部には吸排気用のパイプ及び標識灯（黄色，3秒に1閃，光達距離 14km，光力 150 カンデラ）を取り付け，ハウス周りは整備保守が行ない易いよう広くデッキを空けておき，左右に燃料タンク 1 個ずつと廃液タンク 1 個を取り付けた。

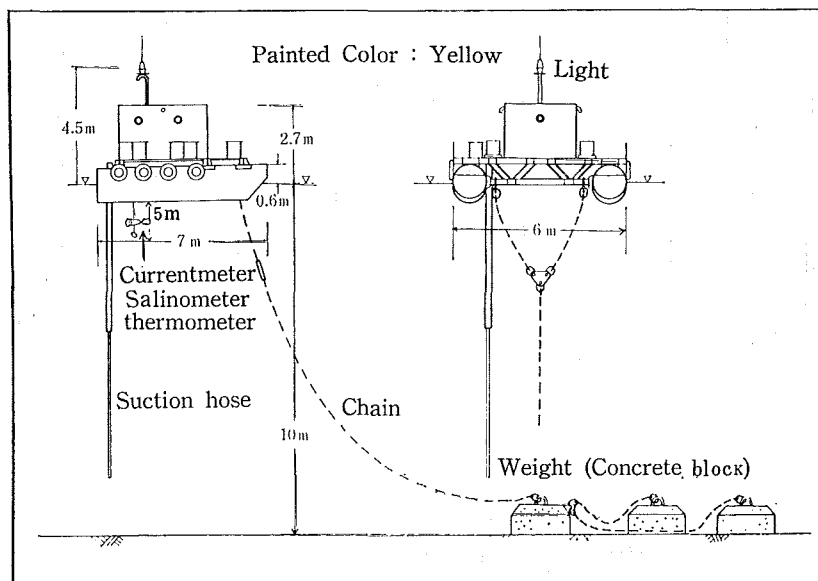


Figure 1 Installation of C.A.A.

確かに双胴型であるためスペースは広く測器の設置や保守には非常に便利であったが，喫水が浅いため動揺が多く，発生した小さな故障の原因の一つになったと考えられるし，角型のパイは荒天時の他の船の接舷を非常に妨げた。

(2) 連続自動水質分析システムの仕組み

水質の分析部分には，Technon Auto Analyzer Monitor IV System を使用した。今回開発した装置の特徴は，分析すべき海水を表層及び 10m（底層）から定時に吸引し，きょう雑物をろ過したのち分析部門に送りこみ，分析終了後は次回のため洗浄までの操作をすべて自動的に行う仕組みである。

このシステムには時間制御装置を組み込んであり，一定時間間隔で発信される時刻信号により，発電機が作動し，分析装置に電気が送られ，これと同時に海水ポンプも働いて 2 層の海水が順次に汲み上げられ，浮遊物をろ過した後分析装置に導かれる。分析装置ではこれら 2 層の海水と分析用薬品の必要量とを，比例秤量ポンプにより吸引し混合処理部に送り，ここでは分析工程に対応するよう作られた混合コイル及び加熱槽を通過することにより，指示薬注入，混合，発色の前処理が行なわれ，被測定海水はりん酸塩濃度に応じた発色を示し，次に比色計に送出される。比色計では，干渉フィルターを通った 2 組 1 対の単色光による吸光度により比色され，電気信号として検出されるがこの信号は更に増幅され，りん酸塩濃度に比例した電気信号として出力され，アナログ記録として表示される。

なお，この自動分析の全工程中には，被測定海水 2 試料のほかに，標準海水，標準試薬，洗浄液，蒸留水を順次切換えて送り，測定結果の零レベルと最高レベルの検知及び確認を行うなど，長時間の測定において精度を維持するための工程が付加されている。またこれらの工程の進行は時間制御装置からの信号で電磁弁が作動し，4 時間ごとに，作業所要時間 69 分にわたる一連の工程が繰り返される。

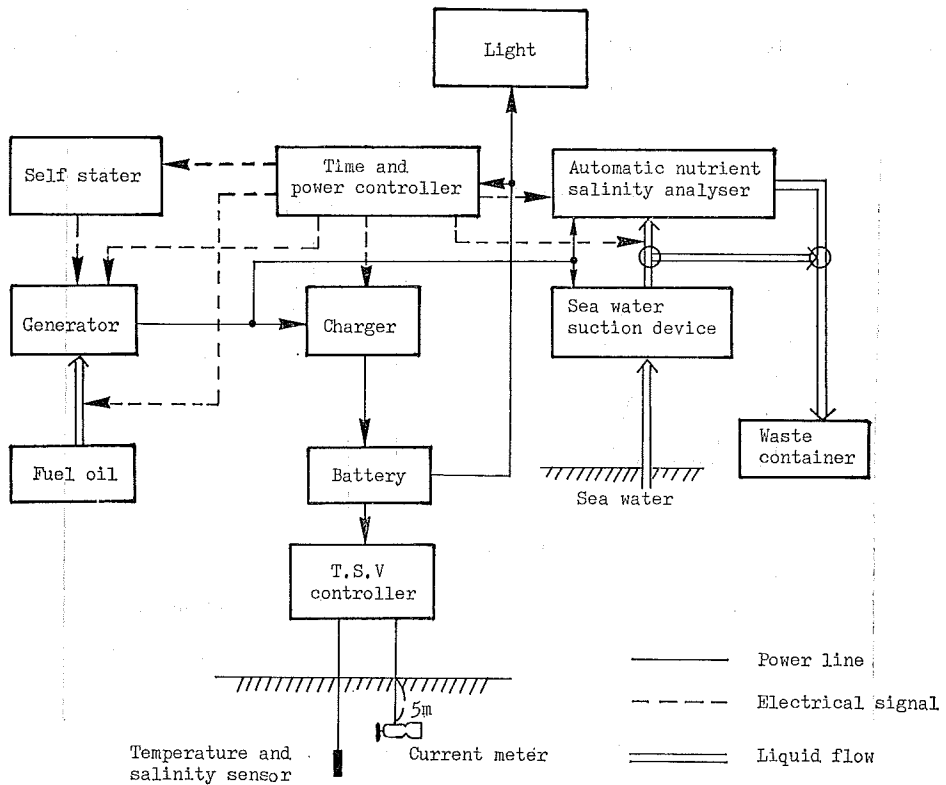


Figure 2 Block diagram of C.A.A. measurement system

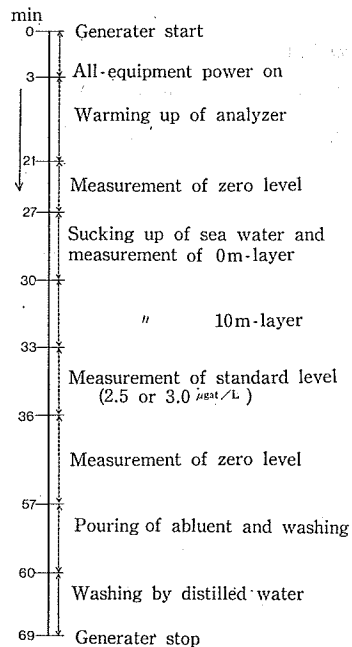


Figure 3 Time table of automatic measurement of phosphate phosphorus

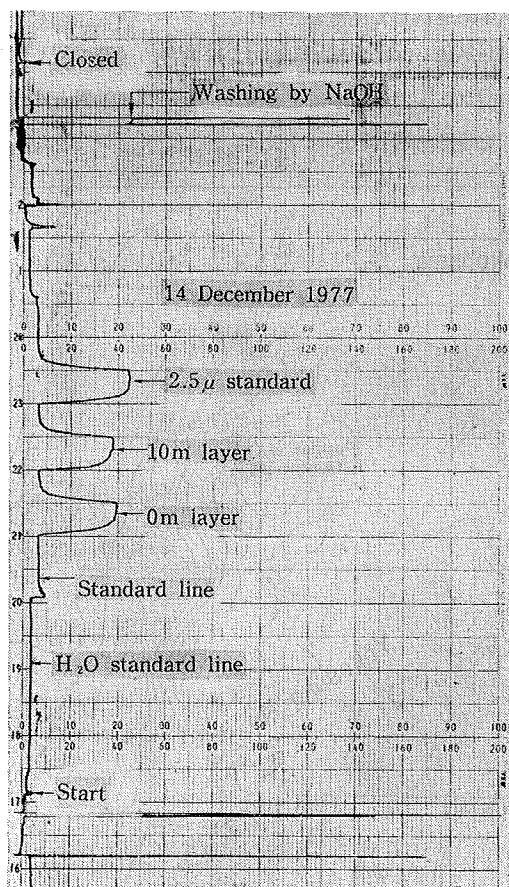


Figure 4 An example of recording sheet

このシステムに関連して Figure 2 に水質観測ブイ測定系統図を、Figure 3 に自動測定時間表を、Figure 4 に実際の記録例を示した。

52年度には 0m 及び 10m 層の水温測定、表層の流向・流速の測定、塩分の測定が追加されたが、これらの測定仕様は次のとおりである。

要素	測定範囲	精度	電 源……DC 160 V 100 A/H 計測及び印字
流 速	0.6ノット	± 3%	観測時間……毎正時
流 向	0°~360°	± 5°	記 録……観測日時，測定項目別番号，流速・流
水 温	5°~25°C	±0.1°C	速値，水温値，塩分値
塩 分	25.3~35.2‰	± 4‰	

(3) 水質観測ブイの設置

先に述べたとおり、ブイ本体は風圧や波の影響を受け易い形であるため、これを係留するチェーンは 32mm、25mm を使用し、アンカーとして 4 トンの角型コンクリート製沈錘 3 個を連結して用いた。この設置にはブイの設置に経験の深い灯台設標船「はくと」の支援を得た。設置方法は先ず「はくと」甲板上で、既に連結してある 3 個の沈錘に係留用のチェーンの一端を取り付け、2本の15トンデリックの1本で3個の沈錘を吊り上げ、他の1本でチェーンをたぐるという操作を順次繰り返して投入し着底させ、しかる後チェーンの末端をあ

らかじめえい航してあったブイに連結して係留を終った。

設置点は横須賀沖の通称「沖の根」と呼ばれる水深 12m 前後の浅瀬で、これからの東側は東京湾中央の水深 40~50m の深部になる斜面で、西側は沿岸に至る浅い海で、ブイ設置点はこの境目に当り、地形的には沿岸水と外洋水の影響を受ける海域である (Figure 5)。

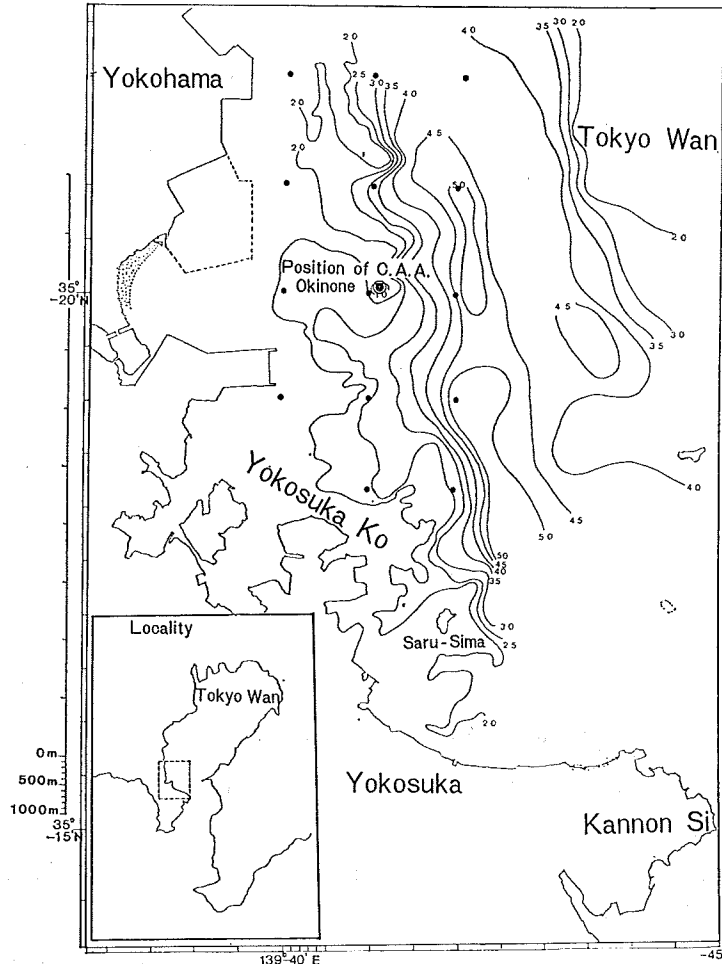


Figure 5 Location of C.A.A. (●) and on board observation stations (●)
(unit of depth : meter)

また、海上交通が輻輳（ふくそう）し、漁業が行なわれる海域におけるブイの設置については、さまざまな技術的な問題の外に、次のような事前の手続きや安全上の処置が必要になる。

- (i) 海上保安庁の事務所に対する届出（港則法）
- (ii) 関係漁協等に対する了解作業
- (iii) 水路通報、航行警報
- (iv) ブイの流出や標識灯の消灯に対する監視と対応態勢

3. 観測結果

本格的な観測に先立って、水質観測ブイ周辺の5点において、測量船により測定時間に合わせて採水と分析を行ない、水質観測ブイの測得した、りん酸塩濃度値と測量船が採水分析した値との比較を行なったが、その結果 0m 及び 10m 層とも $0.02 \mu\text{g at/l}$ の範囲が一致することを確認した。

観測は1976年11月9日から12月10日までと、1977年8月22日～1978年2月27日までの2回にわたって実施したが、このうち一、二の例を上げてその結果を説明する。

(1) 1976年11月の観測例

Figure 6は1976年11月14日～18日までのりん酸塩の測定結果と、参考として横須賀港の潮位記録をあげた。このうちりん酸塩の測定結果では、0m, 10m における濃度値は1.0～2.5の範囲でほとんど同じ周期で変化し、初冬期における東京湾の海水の垂直混合が盛んであることを示している。また時間的な変化では、16～17日にかけてその値に大きな変動がみられる。一般にこのような現象の原因として、りん酸塩の高い負荷は河川水によるところが多く、特に陸上部での降雨と流入によって一時的に一層高まると考えられ、この期間の13, 14日及び16, 17日にも流入河川流域を含む地域に約30mm, 20mmの降雨があり、りん酸塩濃度もこの降雨に対応して増加している。この一例のみでは陸水の流入と、りん酸塩濃度との直接の関係を確認することはできないが、この外のいくつかの対応をみせている例もあり、この両者の相関は強いと考えられる。

また潮位及び潮流の変化とりん酸塩濃度の変化の対応については、この観測からでは特にはっきりした傾向は認められなかった。

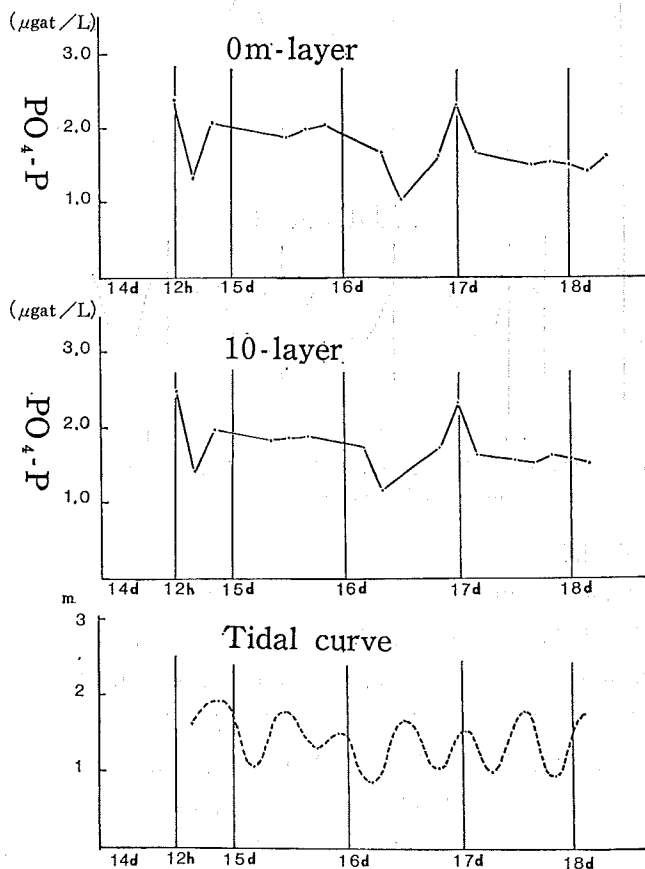


Figure 6 Daily variation of the concentration of phosphates and tidal curve during 14-18 December, 1976

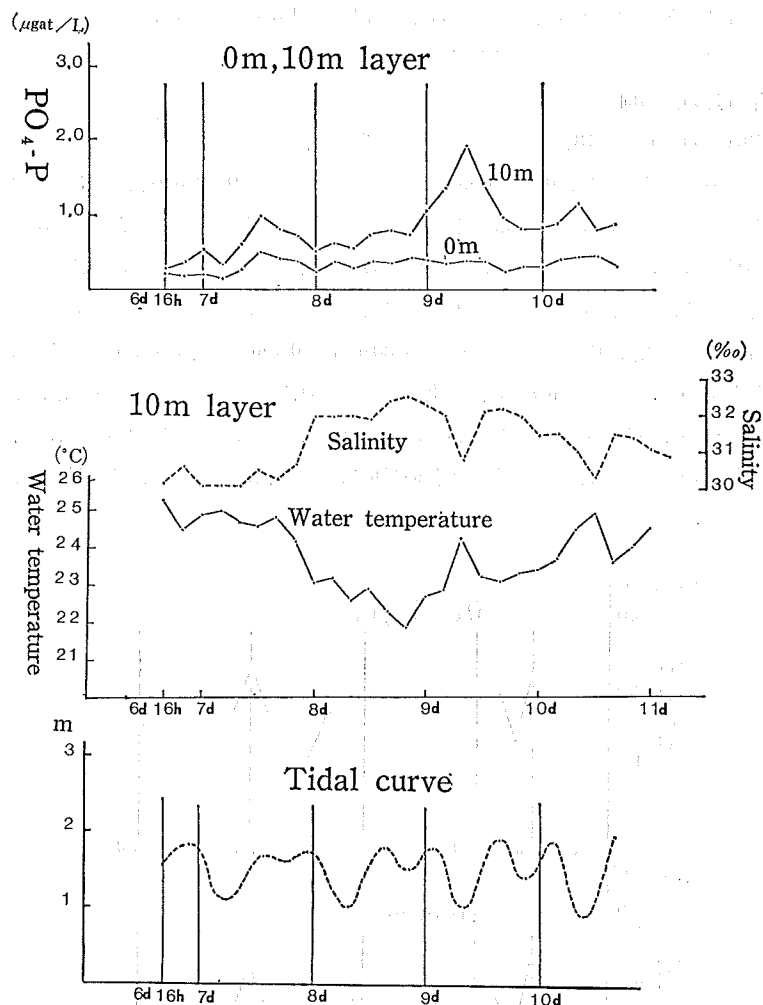


Figure 7 Concentration of $PO_4\text{-P}$, daily variation of water temperature and salinity, and tidal curve

(2) 1977年9月の観測例

Figure 7は1977年9月6日から10日までの前記同様の測定結果と水温・塩分の測定結果である。これを見ると、りん酸塩濃度の上下変化において、0mと10m層ではほぼ同じ周期で変動しているが、その濃度においては、0m層では1.2~0.5までで大きな変化はないが、10m層では0.3~1.8とその値も大きく、変動幅も大きい。また水温と塩分の変化では、水温が高い時は塩分は低く、逆に水温が下がると塩分は高くなり、その変化幅は一方が大きいときは必ず他方も大きく変化するという、非常にはっきりした逆相関を示している。また全体の形は6日、7日が高温低塩分、8日から9日にかけて低温高塩分、以後が次第にまた高温低塩分に戻って行く状態を示し、このうち9日及び10日に短時間の高温低塩分の変化が混っている。この水温・塩分の変化に対するりん酸塩の変化は、10m層においてこの短周期変動によく合致して増加しているが、これはブイ周辺海域に、陸水の影響を受けてりん酸塩を多く含んだ高温・低塩分の内湾系水が移動してきたことを示す好例で、このような内湾水系と外洋水系との海水交流をはっきり捕らえることができたのも、この連続多種目観測の有効性を示したものとといえるであろう。

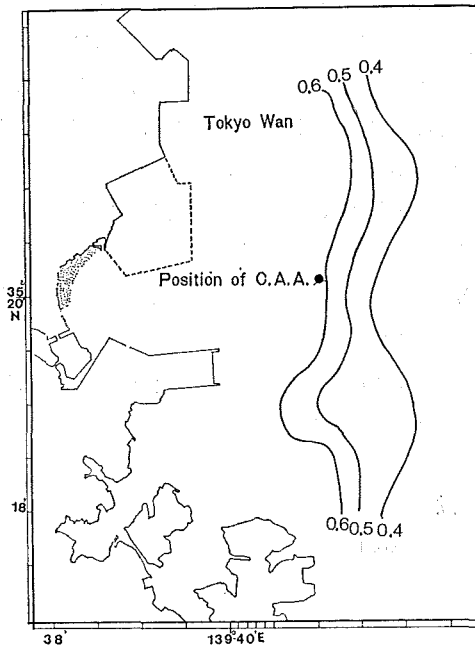


Figure 8 Horizontal distribution of $PO_4\text{-P}$ concentration in 0m-layer ($\mu\text{gat/l}$) 19 September 1977

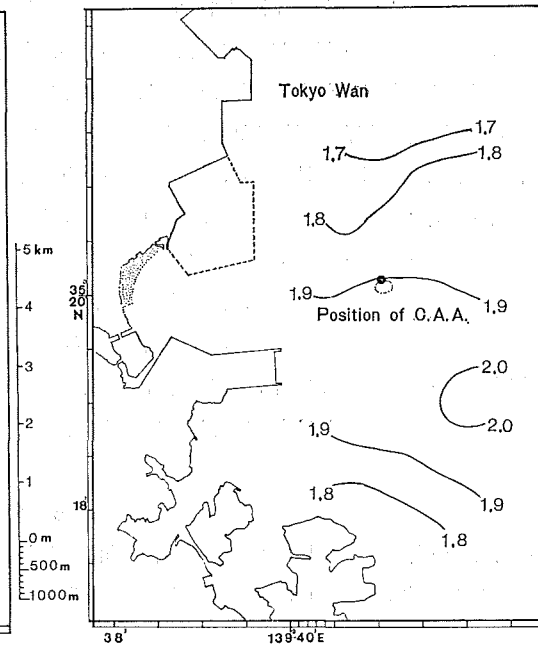


Figure 9 Horizontal distribution of $PO_4\text{-P}$ concentration in 10m-layer ($\mu\text{gat/l}$) 19 September 1977

9月9日には測量船によるブイ設置点付近の海象観測を実施したが、この結果から求めたりん酸塩濃度の0m、10m層の水平分布図をFigure 8, 9に示した。これによると表層でのりん酸塩濃度線の分布は、おおむね海岸線に平行にならび、沿岸から沖合に向けての拡散形態をみせており、これに対して10m層では、その分布線は岸線に直角に東西方向にならび、表層と底層との海水の流動の違いを示し、ブイの観測でも述べた二つの異った水系の混流が垂直面でも生じていることがわかる。

4. まとめ

水温や流れなど物理的の海象要素の、ブイによる連続観測システムについては既に多くの経験があるが、今回の研究開発におけるような動揺、衝撃、不安定な温度や塩気を含んだ湿気等悪条件の重なった海上での精密な化学分析装置の稼働は、全く初めての試みであった。特にこの装置の特徴である二つの海水層から一定時間ごとに採取分析し、さらに次の分析に備えて洗浄するなどの化学分析工程を、自動的に、制御するシステムの長期運転については多小の不安があった。事実、電源システムの自動制御に故障が発生したが、データの取得もできて実験としても予備的な観測として一応の成果を得た。

また、取得した観測成果の面でも、今まで得られなかったりん酸塩、水温、塩分、流向・流速の同時連続観測結果から、湾内で潮流、恒流、陸水の流入、吹送流などの影響を受けて複雑に流動する外洋系水と内湾水系の状況や、これに伴って変動するりん酸塩の挙動の一端を知ることができた。

これらのことから、今回生じた故障を改良することにより、沿岸海域の栄養塩類の長期連続測定が可能になり、これらを基準とした海洋循環の解明、海洋汚染調査や監視、赤潮についての研究などに役立つと考えられる。

なお本研究開発は科学技術庁特別研究促進調整費により実施したが、分析装置の開発もさることながら、水質観測ブイの設置・揚収・保守が順調に行われるか否かは本研究の最重要事項の一つであった。この面からみて設標船「ほくと」を始め、灯台見廻船「うらひかり」、浮標基地の協力なしでは実施不可能であったであろう。第三管区海上保安本部灯台部長始め灯台部関係各位及び水路部各位に心から感謝の意を表します。また水質観測ブイの作製には株式会社緑星社が当り、研究調査の担当者及び船舶は次のとおりである。

設計・製作： 菱田昌孝（現環境庁）、上野義三、岩永義幸、井本泰司、塩崎 愈（現第四管区水路部）

設置・揚収・観測・保守： 倉品昭二、浅野修二、玉田俊彦、白井昌太郎、井本泰司、豊島 茂、田中貞徳、市村 敦（以上本庁水路部）、柳川 彰、遠藤 宏、斎藤茂幸（以上第三管区水路部）、下平保直（第七管区水路部）

協力船舶・部署： 測量船「天洋」（本庁水路部） 設標船「ほくと」 灯台見廻船「うらひかり」 測量船「くりはま、はましお」 鳥ヶ崎浮標基地（以上第三管区）

参 考 文 献

宇野木早苗・岸野元彰，1977：東京湾の平均的海況と海水交流，No.1

一都三県公害防止協会，1972：東京湾総合調査報告書