

白浜海洋観測塔の設備と二、三の観測記録について

速水頌一郎・国司秀明・西 勝也

ON SHIRAHAMA OCEANOGRAPHIC TOWER STATION AND SOME INTERESTING RECORDS

by. Dr. Sci. Shōitirō Hayami, Dr. Sci. Hideaki Kunishi
and Katsuya Nishi

Synopsis

After some discussions on the necessity of continuous observation referred to a fixed coordinate system in oceanographic researches, the oceanographic tower station constructed off Shirahama in Tanabe Bay in 1961 and the measuring system installed in the tower are presented. Some interesting records observed up to date are shown with a few discussions.

1. ま え が き

海洋学、とくに海洋物理学の発展にとって最も大きい障害となっているものの一つに、海洋観測の困難さがある。その理由として、われわれはまず一般に海洋物理学の対象とする測定量はその変化範囲が狭く、そのため技術的にかなり困難な高精度測定が要求されるという点をあげなければならない。しかも、多くの場合、観測環境は陸上に比べてはるかに悪く、時に観測者の生命の危険さえともなうという事情によって、その困難が倍加されていることも見逃すわけにはいかない。これらの困難は事実非常に大きい。しかし、さらにこれらの困難のほか、これまで普通に行なわれてきた船舶や浮標による海洋観測には、一つの本質的な難点があることを見落してはならない。それは、風や波によって船舶や浮標自身が動揺するため起き、測定点の位置の不正確さとそれに由来する誤差、いかえれば座標系が固定していないために起きる測定精度の低下である。この難点は大洋の表層とか沿岸海域などのように比較的測定量の勾配が大きい場所ではとくに重大な問題となる。つまり、測定自身の精度がどのように高くても、測定時の位置変動のために誤った情報となる可能性がそのような海域ではとくに大きくなるからである。

もう一つの問題は連続観測の必要性である。近年の海洋学とくに沿岸海域を対象とした諸研究の発展は一方においてますます精度の高い測定を要求してきているが、同時にそれ以上にますます強い時間的あるいは空間的連続観測への要求がある。沿岸海域とか大洋の表層などの場所は測定量の空間的な勾配が大きいと同時に、時間的な変動もまた大きいのが普通であることを考えれば、このことはごく当然な要求であることが理解されるであろう。このような領域では、たとえ多少精度を犠牲にしても連続的な観測をする方がむしろ望ましいとさえいえるのである。

これらの増大する高精度測定と連続観測との要求に対処する道はもちろんいくつか考えられるであろう。大洋の真中ではおそらく空間的位置の確保が最大の困難をとまなうであろうから、時間的連続観測を断念し、同時性の確保につとめながら空間的な連続観測の方向へ努力する方がむしろ賢明であろう。これに対

して沿岸海域では事情は大きく変わる。ここでは空間的位置確保の困難さの相対的比重はいちじるしく緩和され、むしろ空間的な連続観測を行なうことの実際的な困難さの方がより大きな比重をしめてくる。このことを考え、空間的連続観測への要求をしばらく断念すれば、このような沿岸海域に可能な方法として、空間に固定した系を設けて測定点の位置を確保し、空間的勾配に基因する測定精度の低下を排除しながら、連続観測によってその時間的経過を追求するという構想がおのずから浮び上ってくるであろう。

このような観測法の構想は確かに海洋学においては全く新しい革命的な構想であるが、陸上では決して目新しいことではない。たとえば気象観測では、全く同じ原理に立脚した観測法がごく当然なこととして何のためらいもなくとりいれられ、各地の気象台で実行されているのである。それが海洋観測ではこれまでほとんどとりあげられなかったという理由には、最初に述べた海洋観測に固有な高精度測定の要求のため、そのような連続観測器の製作それ自体が困難であるとか、観測の足場として固定した一時的でない建造物を海中にたてることの実際的な困難さなどをあげることができるであろう。しかし、それ以上に、これまでごく常識的に地上での観測所に対応するものは海上では観測船であるべきだといういくらか先入観的な誤った観念が支配的に存在していたように思える。根本的にはこれまでの海洋学の興味の主体が大洋の中心部に集中していたためであるということができよう。

今日海洋学はすでに大きくその域を脱し、大気との相互関係とか、深海の海底とか、あるいは沿岸海域とか、その興味の中心はいわゆる境界領域へと移りはじめている。これに対応する観測測器の進歩もいちじるしく、観測法にもいくつかの革命的な進歩がみられる。ここで述べた主として沿岸海域を対象とする観測法の構想もまたその一つであって、その重要性は非常に大きいと思われる。おそらく今日以後の海洋学、とくに沿岸海域を対象とする研究の本格的な進展は、このような観測に基づく観測なくしては到底考えられなくなってくるであろう。

1959年 New York で開かれた国際海洋学会議に参加した著者の一人速水は、同年6月 San Diego 沖に完成した Navy Electronic Laboratory に所属する観測塔を親しく見学し、米国においても同様な認識があり、すでに具体化されはじめていることを知って深く心を動かされるものがあつた。その後多くの機会をとらえてこの方法の導入を提唱してきたが、幸い関係当局の支持を受け、昭和35年度施設新営費によって防災研究所に所属する本邦最初の海洋観測塔を白浜の沖合に建設することとなり、1961年その完成を見た。その後昭和36年度および37年度の機関研究費によって計測装置を整備し、順次観測が開始されている。

以下にこの観測塔ならびに計測装置の概要とこれまでに得られた二、三の興味ある観測記録とについて述べる。

2. 白浜海洋観測塔

白浜海洋観測塔と名付けるこの塔は、1961年10月、紀伊半島の先端近くに位する田辺湾の湾口近くに固定設置された。**Fig. 1** はその外観を示したものである。塔位置の詳細は **Fig. 2** に見られる通りで、和歌山県白浜町にある京都大学理学部付属瀬戸臨海実験所の北東沖合にある。平均海面下の水深は約 6 m、最も近い岸までの距離は約 300 m である。

この塔は前節に詳しく述べた海洋学における新しい観測手段を提供し、われわれの生活に最も密接に関係している沿岸海域における海洋物理学的諸過程を大洋と陸地ならびに大気との深い関連性の上にとらえようとする意図を持つ。この中には防災的な見地からみて最も重要な台風にともなう高潮や風浪などの諸問題が含まれていることはもちろんだが、それらがこれまでともすればその場限りの特殊現象としての側面だけが大きくとりあげられてきた傾向を改め、われわれは常時における海の行動のはっきりした認識の上に、これら現象の本質をその存立の基礎からとらえようとする立場に立つ。この意味で田辺湾は外海に面し直接黒潮の影響を受ける一方、関西地方を襲う多くの台風の通路にも当るといふ恵まれた立地条件にある。われわれがとくにこの場所を選んだ大きな理由の一つである。

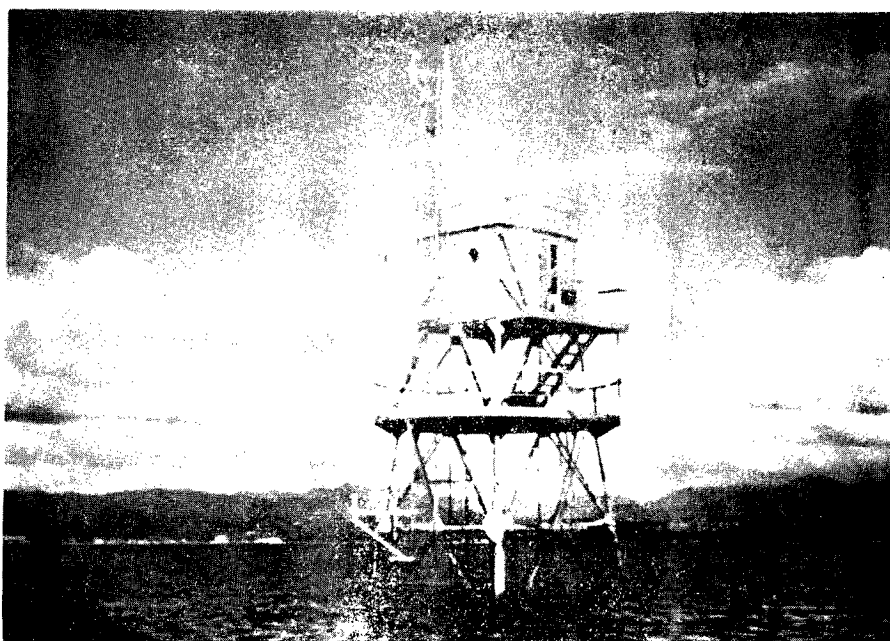


Fig. 1 Shirahama oceanographic tower station

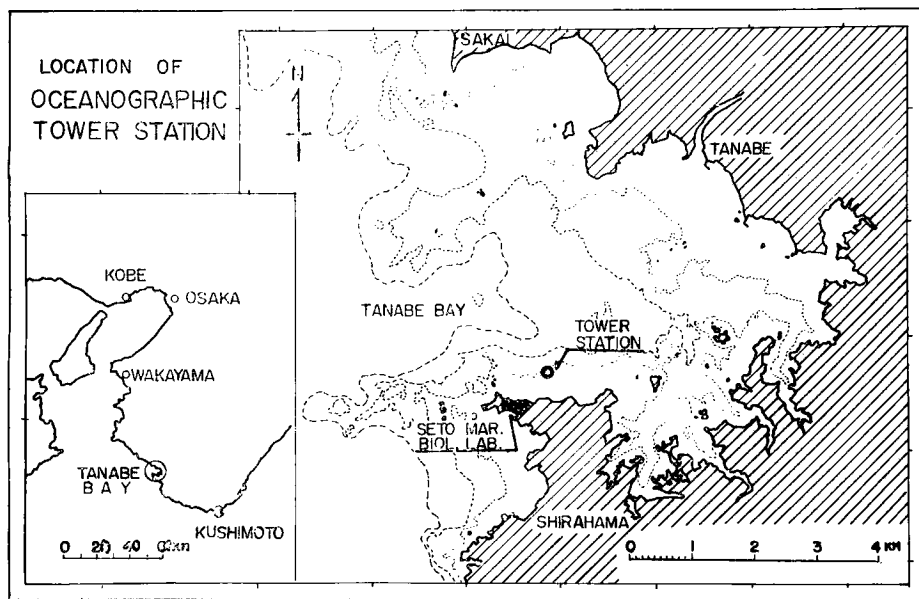


Fig. 2 Location of Shirahama oceanographic tower station

Fig. 3はこの塔の構造を示したものである。主要構造は4脚の鉄骨組で、各脚の下端を1.5m程岩盤内に埋込み、1脚当り約 10 m^3 の水中コンクリートで固め、岩盤に固定してある。最低潮面を基準面とす

ると水深は 5 m, そこから海面上 5 m のところに作業床と名付ける最初の足場が設けてある。その直上に記録計類を納めた記録室が設けられていて、短い廊下と階段によって下の床と連絡してある。作業床は板張り直径 6 m 円形の床で、観測にともなう作業のために設けられたものである。記録室は 2.4 m×2.4 m の面積をもって、床以外の周囲の壁と天井はグラスウールを用いた断熱構造になっている。床はゴムタイル張りで、室内には計器類を置くための木造の棚と机がとりつけてある。記録室屋上には計器受感部の取り付け用としてさらに高さ 4 m の 3 本鋼管組マストが取り付けである。計器取り付け用の鋼管は、記録室から下方にも 4 本とりつけられていて海中にいたっている。Fig. 3 の中に少し太い目の垂直の線で示されているのがそれである。これらの鋼管はすべて外径 48.6 ϕ の足場用鋼管ならびにガス管を採用した。それは計器の取り付けに当って足場用鋼管のためにつくられている既製の緊結金具をそのまま利用できる便利さを考えたためである。実際にそれは計器取り付けの仕事をいちじるしく簡単化した。

この塔の設計は風速 60m/sec, 流速 5m/sec に対してなされている。砕波の影響は考えず、波の効果はすべて設計流速の中に含ませた。そ

れは最大波高が 4 m 位と考えられるので、塔は砕波帯より沖に立つこととなるからである。しかし、多少の危険性を考えて、設計流速は考えられるより 20%ほど大きな値を採用した。また、風速、流速は一応水平と考えるが、とくに、作業床や記録室などがあおられて破壊する危険性を考え、設計には水平から 5° の風向偏倚に対応する揚力を加味した。近似的な平面トラスとしての計算の結果によると、転倒モーメントは 150 t-m, 部材にあらわれる圧縮応力・引張応力・曲げ応力の値は最大でそれぞれ 14.4 t・10.7 t・47.0 t-cm である。各部材の大きさはこれらの応力を短期荷重とみなし、いわゆる安全率は考慮しないで決定した。最大の部材アングルは 130×130×15 で、作業床までの主縦材と海中最深部の横および斜材に使用してある。

施工は大阪で完全に組上げた後、海上を輸送して現場に設置する方法がとられた。各脚のコンクリート固めはそのコンクリートの重量で塔の転倒を防ぐ機能をも持たせてあるから、脚とコンクリートが一体になるようにとくに注意深く施工された。工法はトレミー法である。塗装は防錆処理の後エトキシ樹脂系塗料による硬膜塗装を全体にわたって採用した。海上部の塔の色は安全黄色で、マストの頂上に赤色標識灯がつけである。

この塔を維持する上で最も嫌な問題は生物の付着である。現在これを排除する有効な方法はない。しかし、生物の付着時期はだいたい一定の期間に限られているので、かなり骨の折れる仕事ではあるが、その時期を見定めてそれらの生物が成長しない前に取除く手段に頼っている。

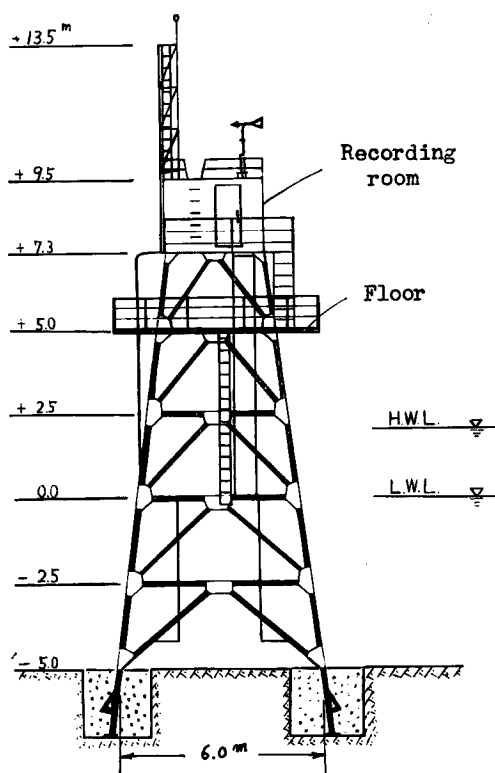


Fig. 3 Sketch of the structure of Shirahama oceanographic tower station

3. 総合自動観測装置

最初に述べたように、この塔での観測は本質的に長期にわたる連続観測であるべきである。同時にわれわれの研究の立場からいって、それは大気・海洋にわたる諸量の調和のとれた一つの総合観測でなければならない。これらの要請から、この塔の観測装置を大気・海洋にわたる一連の総合的自動連続測定装置とするという構想が生れる。この構想のもとで一つ一つの観測項目ならびに計器類の慎重な検討を行ない、それらを整備して1962年6月ごろから順次観測を開始した。これまでに整備した観測項目は気象要素として気圧*・輻射*・雨量・気温・湿度・風向・風速、海洋要素として水温・塩分・濁度・プランクトン・潮位・波浪・流向・流速である(*印は現在整備中)。Table 1 にこれら測定要素の素子の数と取り付け位置がまとめて示してある。

この総合観測装置は現在少数の蓄電池だけではほぼ1カ月間作動し続ける性能をもっている。この性能は実際問題としてはかなりきびしい要求で、実際に装置を構成する過程ではこれを実現するために非常に多くの努力が払われた。初めに述べた総合観測の構想やここで述べた電力に関する要求の結果、既製の製品をただまんと集めるだけでは希望する装置を実現することは全く不可能で、根本的に考えを改める必要に迫られた。このため思いきって測定の受感部と記録部とを完全に分離して考え、できるだけ少数の記録計に同時記録する方針をとることとした。以下に各部の実際構成と電源装置とについていくらかの説明を加える。

(1) 記録部

記録部は4台の打点記録計と2台の電接度数記録計とからなっている。Fig. 4 および Fig. 5 がそれらの外観である。前者は落下枠打点方式の6素子色別記録計で、とくに可動線輪としても交叉統輪としても使用できる特長がある。また、いわゆるスパンバンド支承方式で原理的に無摩擦なため精度が高く、また耐震性も強いという利点がある。打点間隔は20秒、したがって、一つの量のサンプリング間隔は2分である。塔で用いるために駆動モーターは直流マイクロモーターに変更し記録の捲取装置を付加した。

後者の計器は5素子の電接回数記録計であるが、とくに、外部信号によってヘンが零に復帰できるようにしてある。したがって、たとえば5分間隔で外部から信号を送りこめば、記録の頭からただちに5分間の平均電接回数が知れる。記録紙の送りは電気捲時計に

Table 1 Observation system of Shirahama oceanographic tower station

Observing factor	Number of transducer	Measuring height*
Atmospheric pressure	(in preparation)	
Radiation	(in preparation)	
Rain		10.3 m
Air temperature	No. 1	12.3
& Hummidity	2	8.7
	3	5.4
	4	3.1
Wind direction		11.0
Wind velocity	No. 1	13.8
	2	10.8
	3	6.7
	4	6.7
	5	4.2
	6	4.2
Water temperature	No. 1	- 0.8
	2	- 2.4
	3	3.7
Salinity		- 2.5
Turbidity		- 2.5
Plankton		- 2.2
Tide		- 1.8
Wave		- 1.8
Current direction		- 1.7
Current velocity	No. 1	- 0.8
	2	- 3.0
	3	- 3.7

* These heights are measured from a reference point fixed to the tower whose level agrees approximately with the low water level.

よっている。

記録紙送りの時間制御の問題は重要で、この二つの型の記録計はいずれも現在まだその精度は十分でないで、早くから水晶時計による制御方式を検討してきたが、ようやく成案が得られたので近く改装する手筈になっている。

(2) 受感部

電接度数記録計には風速・流速・雨量の各受感部が接される。風速計は風程 90 m の 3 杯ロビンソン型、雨量計は 0.2 mm / パルスの転倒弁型で、外形などはいずれも気象庁規格のものである。**Fig. 6** と **Fig. 7** にこれらの外観が示してある。

Table. 1 にも示したように風速は 4 層ではかれているが、下方の 2 層は塔自身の影響がかなりあるので、直角だけ異なる 2 方向にそれぞれ 1 台つけてこれを除く工夫をしてある。5 分間の平均風速を考えた場合 1 パルスは 0.3 m/sec に相当するから、測定精度は ± 0.3 m/sec と考えられる。この精度は風速分布から風が海面におよぼす摩擦力を研究するにはなお必ずしも十分でないから、必要に応じて内蔵してある直流発電機によってもう少し精細に研究できるようにしてある。

雨量計は記録室の屋上につけてある。**Fig. 7** で雨量計本体の周囲をとりまいてつけてある水平円形部をもった漏斗状のものはいわゆる助炭で、雨量におよぼす風の影響を少なくする効果をもつ。いくらか普通と異なるのは水平円形部が板でなく金網で張ってある点である。これは強風であられることを心配したことから、こうしても効果は変わらないと考えられたからである。記録は 1 時間雨量を標準としてとっている。もちろん、精度は ± 0.2 mm である。

流速計はとくに風速と同型式のものを試作したが、測定可能な最小流速はほぼ 20 cm/sec で、この塔における常時の観測用としては不十分なので目下これに代わるものを検討している。微流速測定の問題はずいぶん長い間の懸案だが、未だに簡単な良い方法がない。これを測定することはいろいろな意味で非常に重要

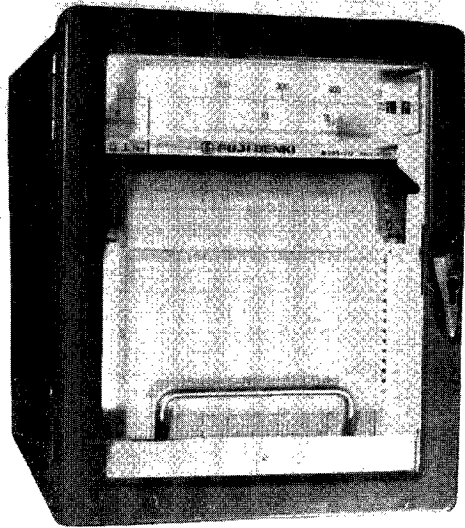


Fig. 4 Print-recorder of parallel-coil type

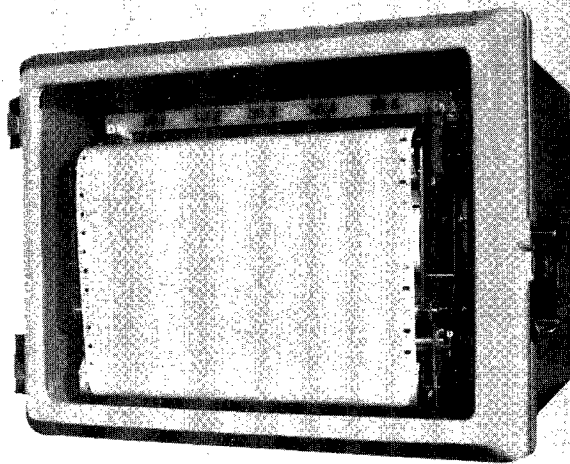


Fig. 5 Counting recorder of electric contacts

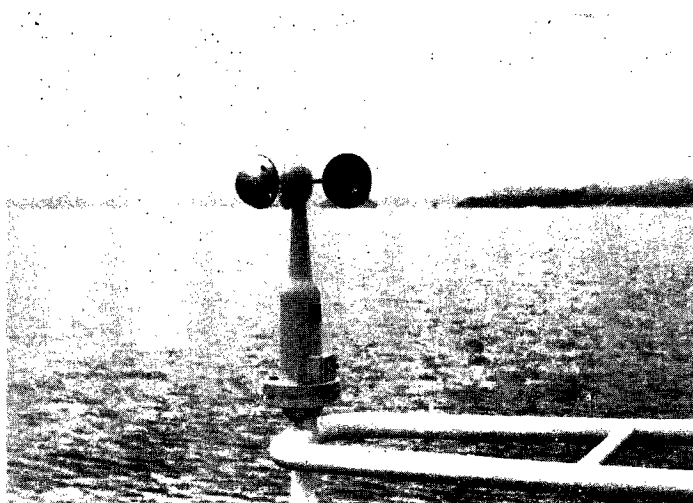


Fig. 6 Cup-anemometer

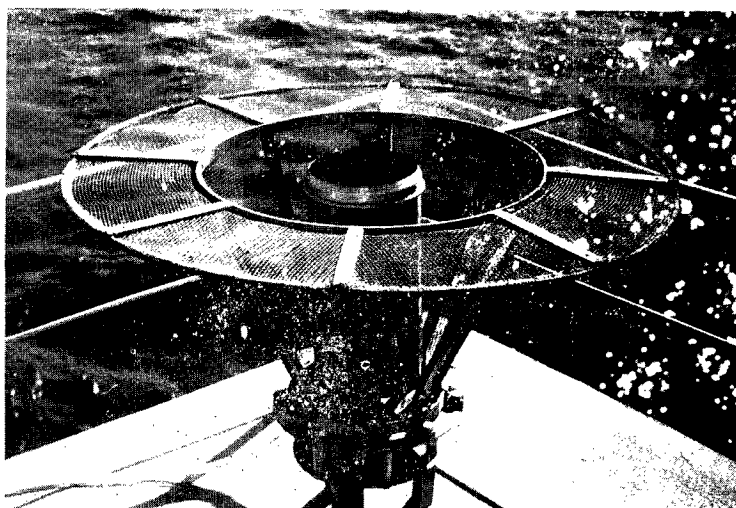


Fig. 7 Rain gauge

だから、多少精度に難点があってもなんとか早急に実現したいと考えている。

打点記録計には残りの大部分の測定要素の受感部が接がれる。すなわち、気圧・輻射・気温・水温・湿度・塩分・濁度・潮位・風向・流向である。気圧計は空盒の伸縮をリングチューブと呼ぶトランスデューサーによって抵抗変化に変える方式とする予定で目下試作中である。輻射計はゴルチンスキー型であるが、主として熱収支の問題を扱うために、とくに数十 μ の遠赤外領域まで感ずるよう特別に設計されたものである。上下の輻射束を別別に計測する予定で目下製作中である。

気温・水温の測定は白金測温抵抗体によっている。**Fig. 8**と**Fig. 9**がそれぞれそれらの実際の形である。**Fig. 9**の左方の周囲に穴のあけてあるものは保護用の塩ビパイプで、実際には右方の受感部にかぶせて取り付ける。測温範囲は $-5\sim 35^{\circ}\text{C}$ 、記録計を含めた総合精度は $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ の程度だが、その大部分は

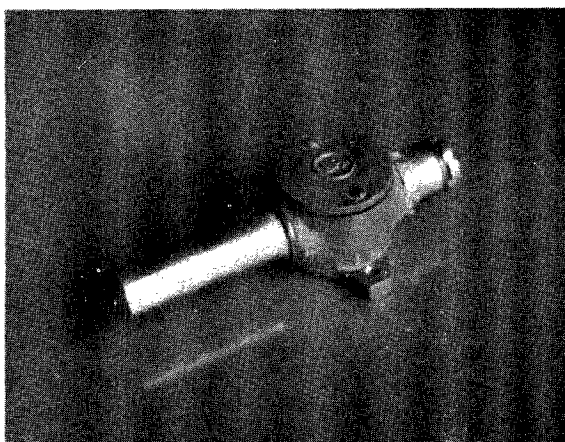


Fig. 8 Transducer of air thermometer

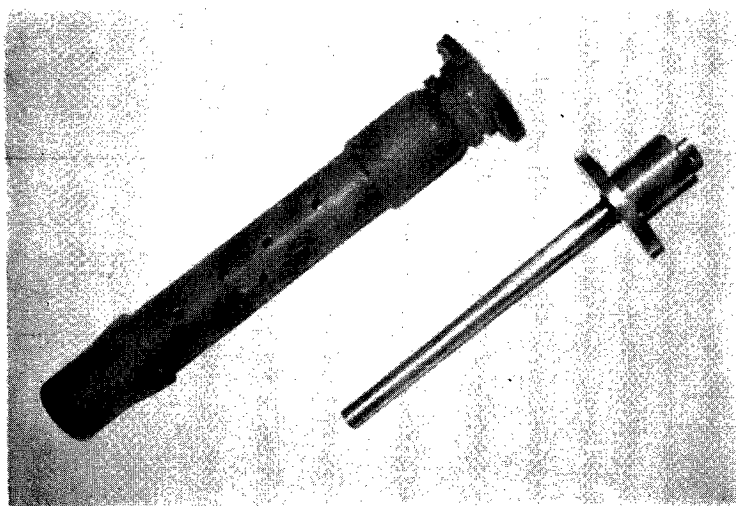


Fig. 9 Transducer of water thermometer

器差と夏と冬とで記録計の平均周囲温度が違ふといったことのために生ずる季節的な誤差であつて、これらは少しく労力を要するが綿密な検定校正によつて除きうる性質のものである。このために室温をも常時同時に記録させてあるが、とくに1素子の短期間の相対的変動量に対してはこれらはほとんど問題にならず、その誤差は $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内とみて差支えない。

湿度はサーミスタによる乾湿球の温度差測定とした。測定範囲は気温によつて変わるがだいたい 7.5°C である。**Fig. 10** にその受感部を示した。気温と湿度との受感部は **Fig. 11** のように一しょにして百葉箱形式の円形の輻射よけの中につけてある。**Fig. 12** はそれが実際に塔に取り付けられたところを示したものである。外部からは白銀色に塗装した輻射よけのカバーしか見えない。その底に少し見えている放射状をした台の部分が **Fig. 11** にみられる取り付け台である。

Fig. 11 で気温計を保持している足は塩ビの中空円筒であり、また、湿度計の先端金属部と保持金属部

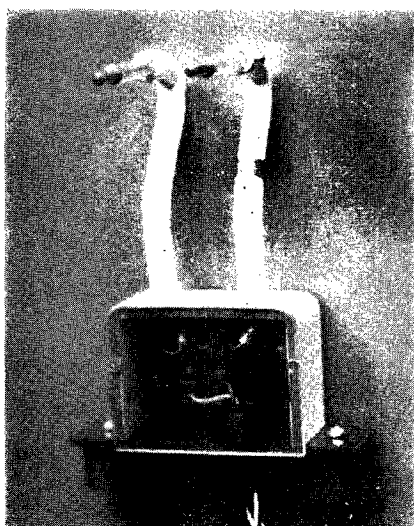


Fig. 10 Transducer of psychrometer

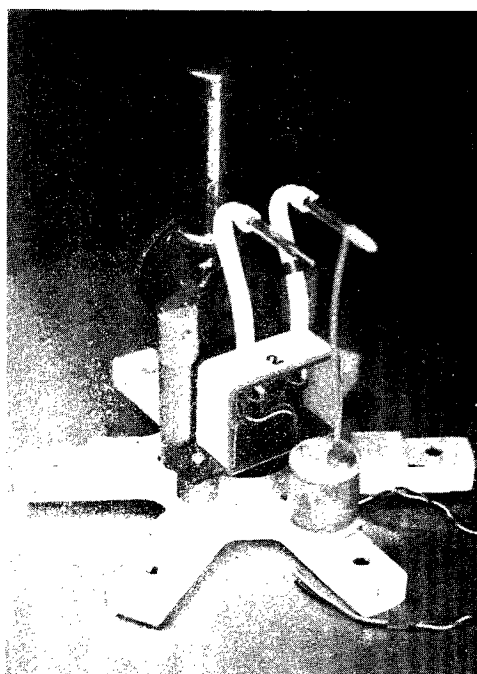


Fig. 11 Transducers of air thermometer and psychrometer mounted together

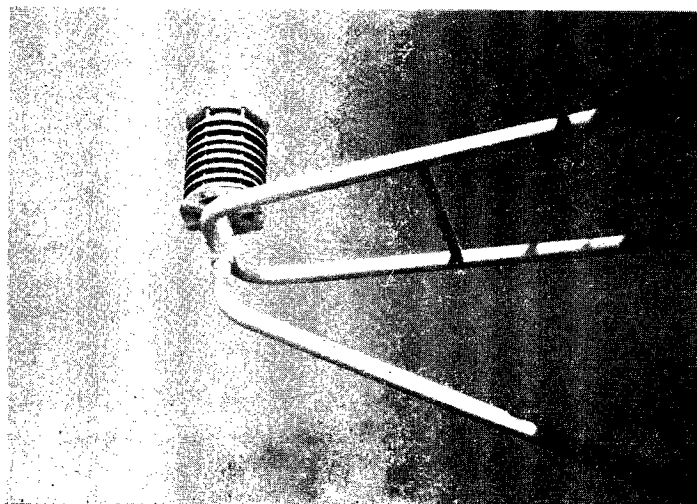


Fig. 12 Screen for transducers of air thermometer and psychrometer

とを結ぶ透明な部分はダイフロンのパイプで、これらは輻射よけ自身が太陽の直射で熱せられることからくる誤差を少なくするための熱絶縁構造として設計されたものである。水温も前に示した **Fig. 9** の受感部

を短い塩ビ管を介して取り付け用銅管につないである。濁度の計測は普通の透過光量の測定方式であるが、透過光の測定素子として硫化カドミウムを採用し、光源ランプの消費電力の軽減をはかった。また、この種計器の長期にわたる安定性の低さを考慮して、常時基準光学ガラスの透過光量との交互測定をして比較する方式をとった。**Fig. 13** がその海中受感部である。最も右方の円筒部分に光源ランプが入っており、左方の円筒部分に光路切換用有極リレーと CdS 測定素子が入っている。海中受感部のリード線のひきだしはすべて一応水密構造にしてあるが、さらに、取り付け用銅管とはすべて O-リングを入れたフランジ接続によって二重に浸水を防止する構造としてある。**Fig. 13** にその結合状況が同時に見られる。リード線は取り付け用銅管の中を通して記録室に導かれる。

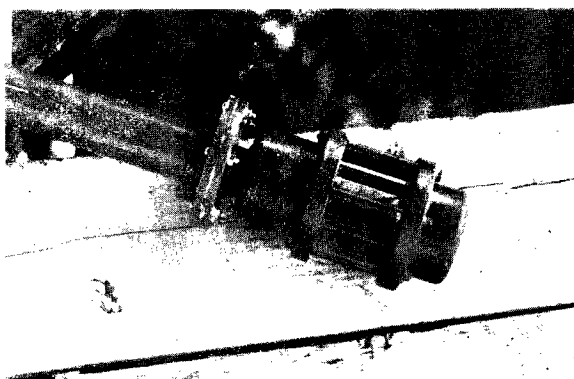


Fig. 13 Transducer of turbidity meter

塩分の計測は **Fig. 14** に示した電磁誘導法と呼ぶ原理による海水電気伝導度の自動平衡測定によっている。この方法は普通の電気伝導度の測定で用いられるような電極をもたない点でとくに長期の安定度を必要とする連続観測には有力な方法だと考えられる。原理は励磁コアの励磁によって海水がターン数 1 のコイルとして作用し検出コア

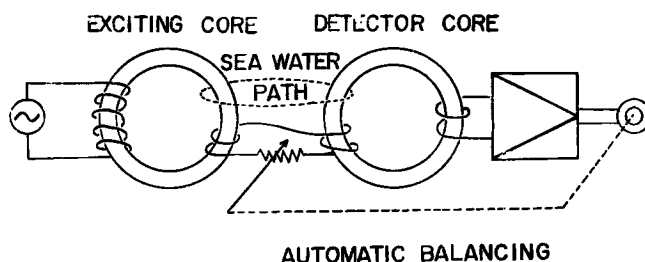


Fig. 14 Illustration of the measuring method of salinity

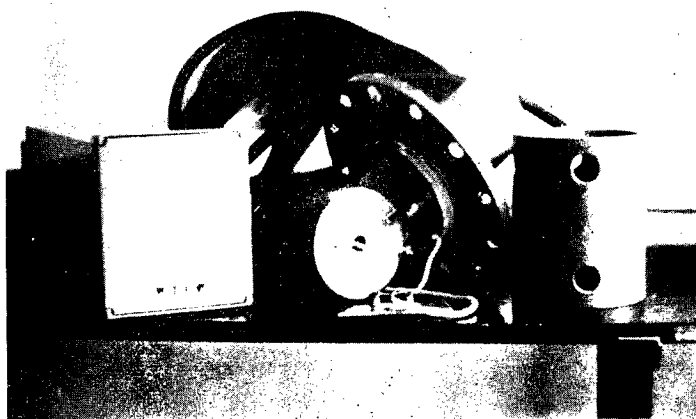


Fig. 15 Assemblage of recording salinometer

に巻いた検出コイルに電圧を誘起することによっている。われわれの場合は両コアに抵抗を介して逆向きに巻いたコイルによって、誘起電圧が零になるよう抵抗値を自動平衡機構によって加減している。実際には伝導度の温度への依存があるからこれをサーミスタで除いている。

Fig. 15 にこの装置の全体を示した。中央が海中に沈めるコアの部分で、左方が記録室におく自動平衡指示部である。記録はさらにこの指示部から発信して打点記録計で行なう。右方の筒はコア保護用のカバー、前においてある小さいものは検定用のマンガニン抵抗である。この計器の測定範囲は15~20%Cl, 精度は $\pm 0.1\%$ Cl位でまだ十分満足すべきものではないが、塩分の自動記録はまだ世界でもほとんど類をみないので、これの詳細については稿を改めて報告する予定である。ここでは自動平衡機構にトランジスタによるD. C. サーボ機構を採用し、消費電力を2.4 W程度におさえることができたことを述べておくにとどめる。

潮位は **Fig. 16** に示したように、水圧を注射針を用いた細孔と1.000 csのシリコンオイルとで構成される時定数約2分の低域フィルターを通した後、非接着型の歪ゲージで計測する。実際の海中受感部を **Fig. 17** に示した。受感部は差圧計式になっていて、一方の側は海中に直接口を開くが、他の側は10 csのシリコンオイルによって圧力のバイアスがかけられている。さらに、その先は大気に口を開いていて、これによって気圧変動の効果が取除かれる。受感部全体を海中につけたのは潮位の測定には1年間の温度変化に基

づく誤差を極度に警戒しなければならないからである。この電源にはとくにシリコントランジスタによる温度誤差の少ない電圧安定器がつけられているが、これもその考慮によってとられた処置である。圧力バイアスに用いたシリコンオイルの熱膨張による誤差は海水の膨張による誤差と打ち消しあって、 ± 0.1 cm の程度に

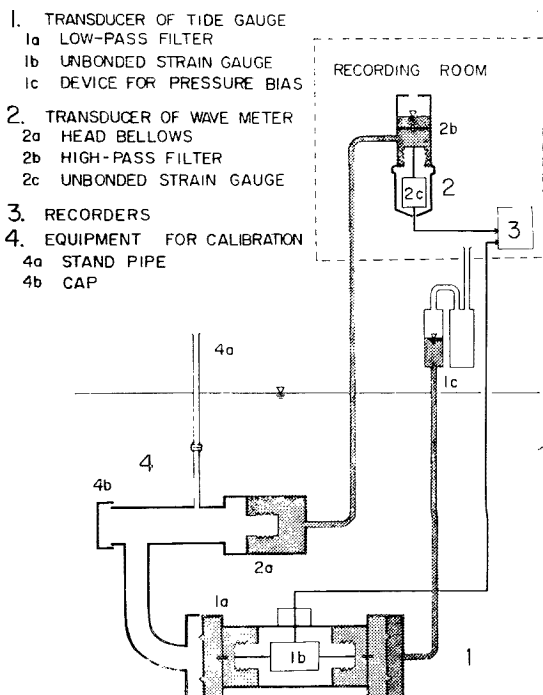


Fig. 16 Illustration of the measuring methods of tidal level and waves

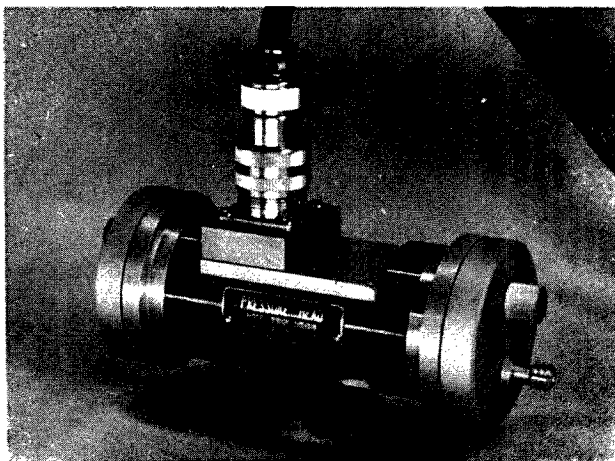


Fig. 17 Transducer of tide gauge

おさえられるように設計してある。測定巾は 5 m である。

風向・流向は普通の矢羽根にエンドレスのスライド抵抗を抱かせた。記録はそれぞれ打点記録計の 2 素子分を割り当てサンプリング間隔を 1 分としてあるが、とくに風向は変動がはげしいので、実際的にも 8 方位か 16 方位ぐらいの段変計測にするか、パークレー型のレスホンスの遅い風向計に改めた方がよいように思われる。**Fig. 18** に示したのが風向計で記録室の屋上に取り付けてある。

(3) 波浪およびプランクトン

ン

波浪とプランクトンの計測は交流 60c/s を用いている。これは資料の処理能力その他の点で、さしあたって波浪は 13 分間 1 日 2 回、プランクトンは 1 分間 1 日 1 回の測定と定めたため、既製の交流機器を用いても平均の消費電力としてはそう大きくはならないからである。

Fig. 16 に潮位と一しょに示しておいたように、波浪の測定はまずただ 1 箇のベローからなる海中受感部からの圧力変動を 10 cs のシリコンオイルを媒体として室内の圧力測定部に導く。この測定部には時定数約 30 秒の高域フィルターがついていてそれ以上遅い圧力変動をここで除き、残された圧力変動の情報が非接着型歪ゲージによって電圧に変換される。**Fig. 19** はこの変換部を示したものである。上方の透明な部分に高域フィルターがつけてあり、下部に歪ゲージが入っている。記録計は自動平衡方式の電子管記録計で、**Fig. 20** にその外観を示した。

プランクトンは海水を水中ポンプで汲み上げ、プランクトンネットに濾過して採集する方式である。ネットはリールに巻かれていて、ポンプ停止とともにその背圧を利用して、ちょうど写真フィルムの送りと同様な機構で機械的に・駒送る巧妙な方法がとられている。この捕集器の外観は **Fig. 21** に見られる通りで、右方から手前にのびた蛇腹管が海中に沈めた水中ポンプに接続され、ここから海水が汲み上げられる。プランクトンネットは底部の透明容器に入っているが、ここにはホルマリンが入れてあって、プランクトンは採

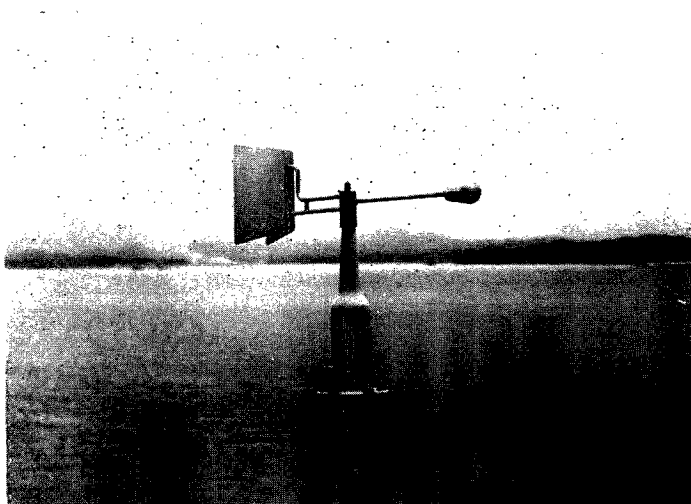


Fig. 18 Wind vane

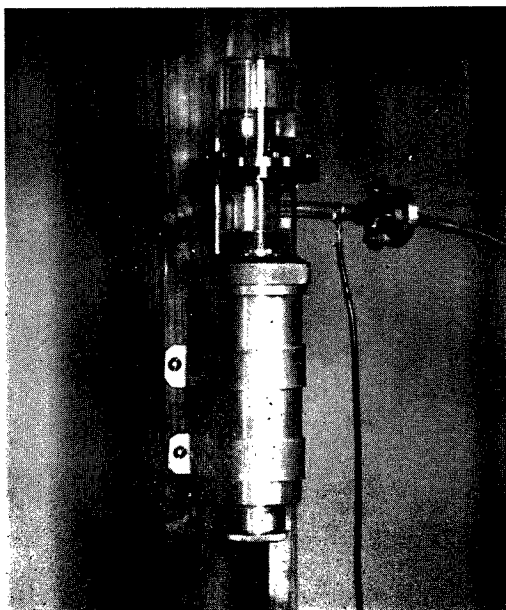


Fig. 19 Transducer of wave meter

集と同時に固定される。この捕集器も世界で最初の設計であり、その詳細については別の著者によって発表されるであろう。なお電源の交流は **Fig. 22** に示した 250VA のインバーターを介して蓄電池から供給される。

(4) 電源および指令時計

以上に述べた計器類の平均消費電力は波浪とプランクトンに約 3 W、塩分に約 0.8 W、濁度に 0.6 W、その他が 1.6 W くらいで、全体で約 6 W である。なお、塩分と濁度とは 2 分のサンプリング間隔の 1/5、測定前の 40 秒間だけ記録計と同期してスイッチが入り作動するようにしてある。

これらの電源として 6V×90AH の Ni-Cd アルカリ蓄電池 11 箇を用意した。**Fig. 23** はそれらの一部を示したものである。充電は 3 KVA のディーゼル交流発電機と 120V×20A のシリコン整流器によって原則として 1 カ月に 1 回行なう。**Fig. 24** と **Fig. 25** にそれらの外観を示した。整流器は記録室の中におかれているが、発電機は下の床に防音と保護とを兼ねた密閉できるカバーをかぶせて設置してある。**Fig. 24** の箱がそれで、発電機自体はこの中にあり、写真ではエンジンの始動部と電圧調整部の蓋が取り除かれてそれらの部分が見えている。整流器は **Fig. 25** の中央の切換器とその上方の二つのハンドルとでさまざまな電池の充放電状態に対応できるようにしてある。

11 箇という電池の数はまず適当なもので、これ以上になると充電の困難とかさまざまな障害がでてくるように思われる。しかも、これだけの電池群で 1 カ月間まかなうためには全体で平均 6 W 程度の電力消費しか許されないのであるから、いかにこの電力の条件がきびしいものであるかが理解されるであろう。

計器に動作指令を与える指令時計は現在乾電池で動くモーター時計を利用して製作してある。**Fig. 26** がそれである。しかし、1 カ月もの長期にわたる時間精度は不十分なので、前にふれた記録紙送りの同期まで含めて、最近開発された乾電池で動く水晶時計による制御方式に近く変更する予定である。

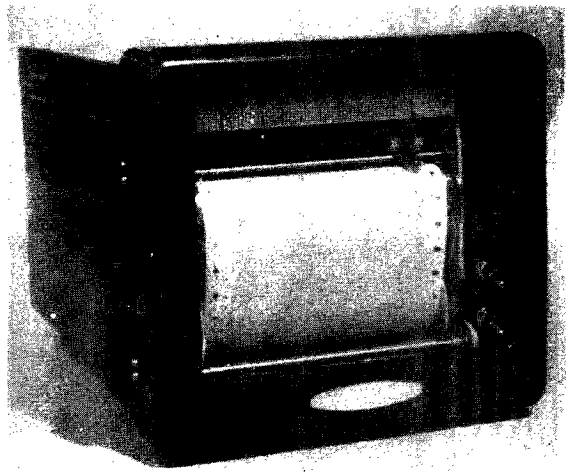


Fig. 20 Recorder of wave meter

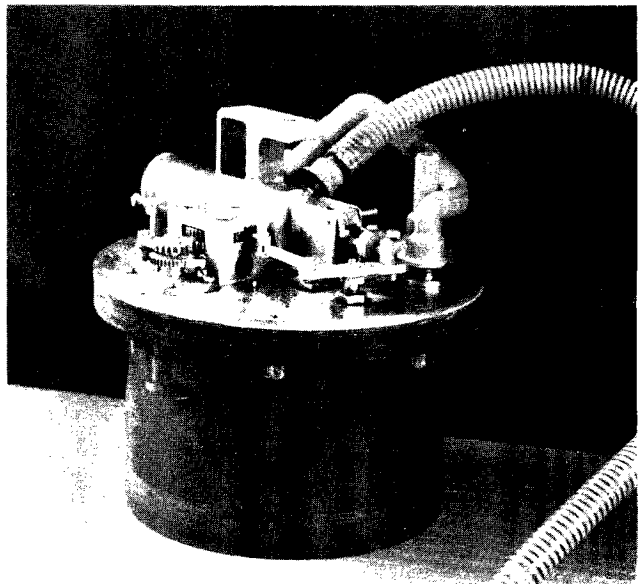


Fig. 21 Automatic plankton sampler

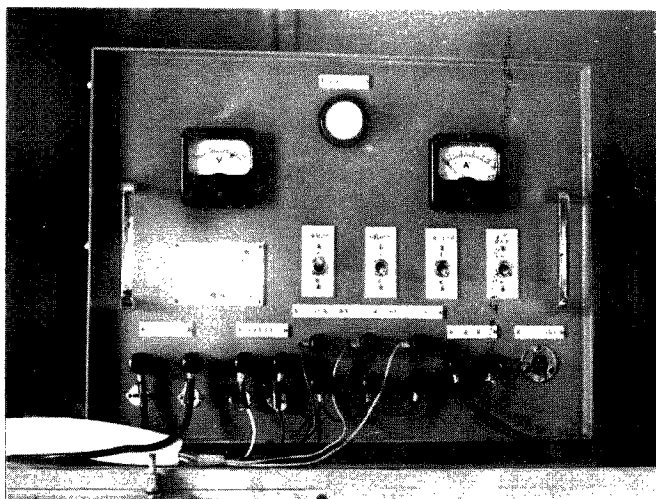


Fig. 22 Inverter for wave meter and plankton sampler

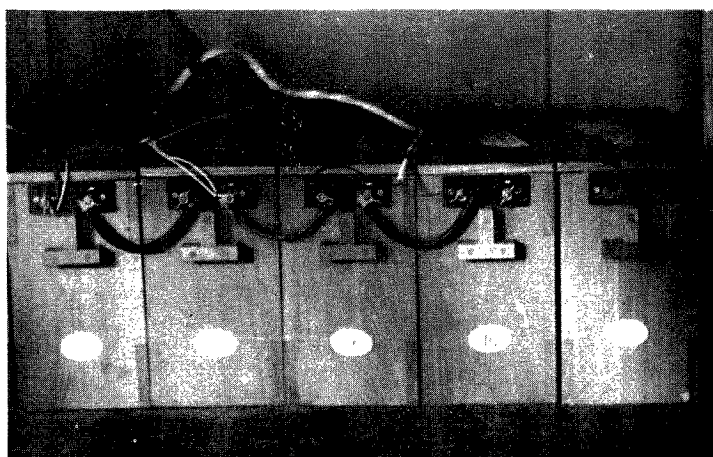


Fig. 23 Ni-Cd alkaline batteries

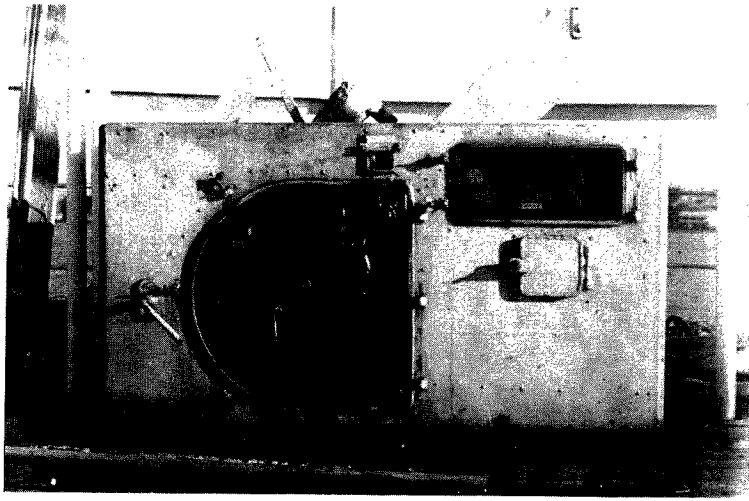


Fig. 24 Diesel engine A. C. generator

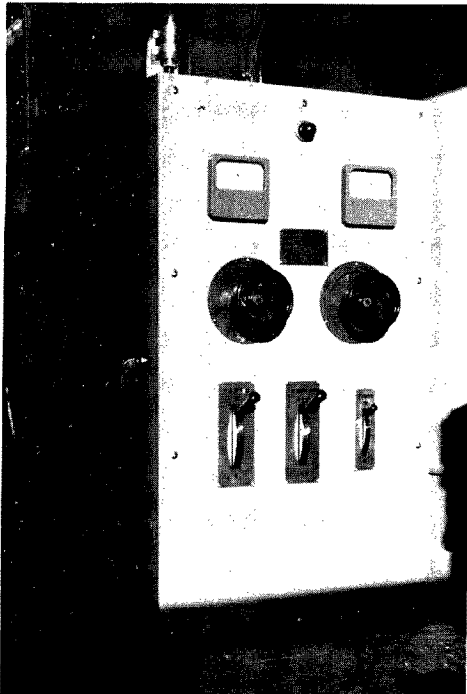


Fig. 25 Silicon rectifier

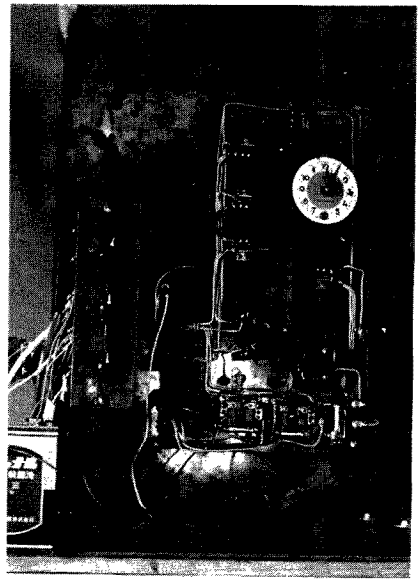


Fig. 26 Timer supplying operation signals

4. 二, 三の観測記録

1962年7月27日この塔は初めての台風を経験した。この台風7号はやや小型ではあったが、その中心は自

浜に近い周参見に上陸し、紀伊半島から近畿地方を縦断して日本海に抜けている。白浜でも相当に強い風雨に見舞われたが、昼過ぎに典型的な台風の眼の通過が経験され、一時風がやみ、晴間があらわれた。この時塔ではまだ一部の観測が始まったばかりで得られた資料は多くなかったが、**Fig. 27** にその時の風速記録を示す。一見して15時15分を中心としほぼ30分間にわたって台風の眼の通過している様子があざやかに見られる。記録の頭は5分間の平均風速をあらわしていて、最大で 23 m/sec に達している。

ついで、8月25日の夜半から26日の早朝にかけてこの塔は2回目の台風を経験した。この台風14号は尾鷲に上陸、ふたたび紀伊半島を縦断して日本海に抜けた。規模は7号より大きかったが、コースが東に寄っていたために白浜での状態は前回と同じ程度であった。その時の風速記録を **Fig. 28** に示したが、前回のような顕著な眼の通過は見られない。5分間の最大平均風速は 22 m/sec である。

この時はこれに先立って水温および塩分に非常に興味ある変化が見られた。**Fig. 29** にそれが示してある。この図は3時間毎の読み取りを結んだもので、下側の線が塩分、中央の太い線が水温 (No. 3)、細い線は参考のために示した気温 (No. 1)、さらに上側の線は白浜通報所における気圧である。19日から22日にかけて急激に水温が約 4°C も低下し、同時に塩分は約 0.8‰ も上昇しているのが見られるであろう。おそらく、これは外海水の突然の流入を示すものと思われる。この頃台風14号はやっと南方洋上に発生したば

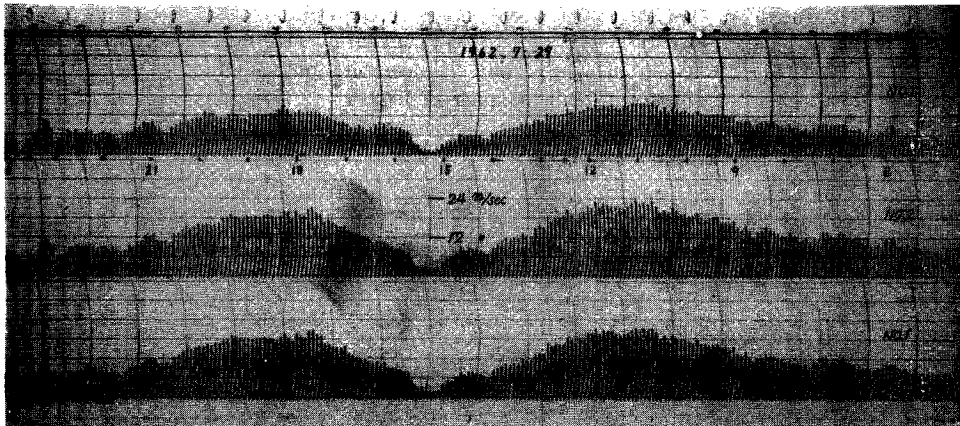


Fig. 27 Record of wind accompanied with the typhoon 6207

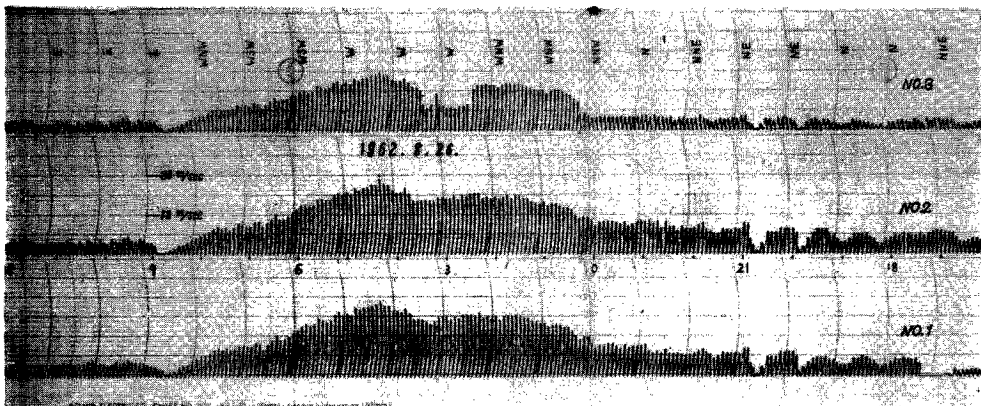


Fig. 28 Record of wind accompanied with the typhoon 6214

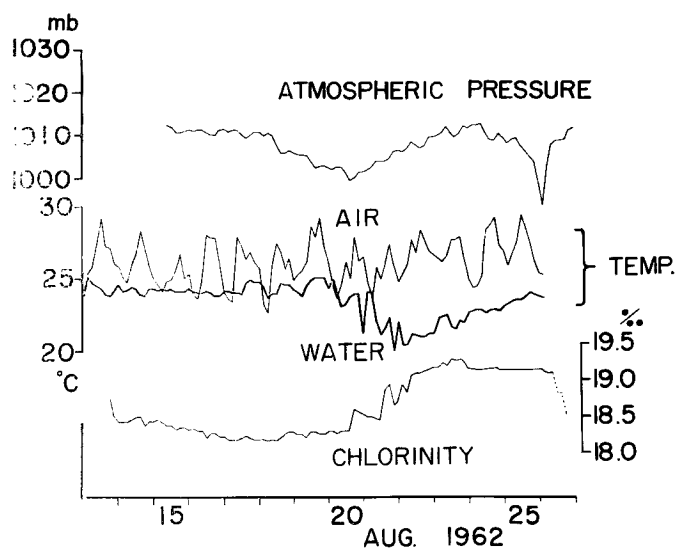


Fig. 29 Great changes of water temperature and salinity observed in the summer of 1962

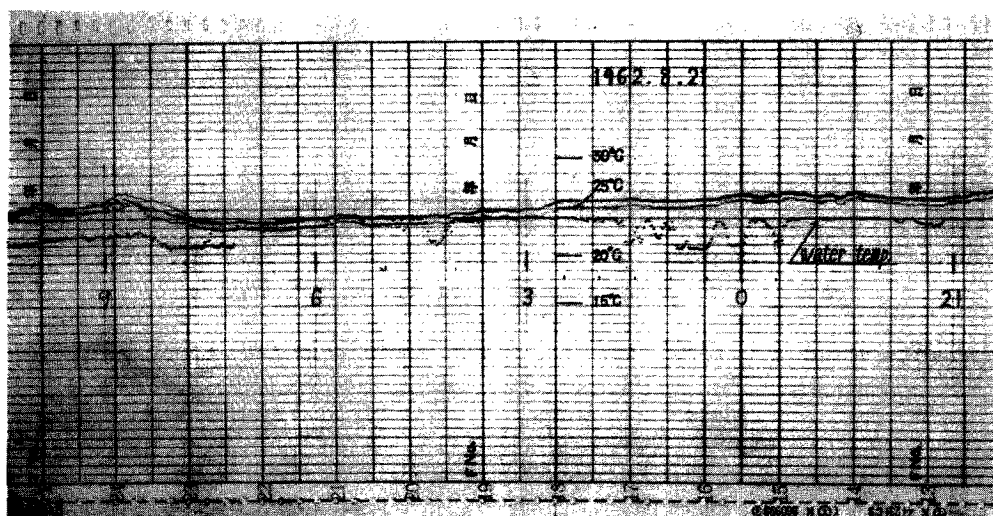


Fig. 30 Peculiar behavior of water temperature observed in the summer of 1962.

かりなので、これが14号の影響である可能性は少いように思われるが、この時期には20日に銚子沖から房総半島をかすめて北東へ去った12号、21日から22日にかけて九州を縦断した13号と相次いで台風が発生しており、なかでも、12号はかなり大型で、通った場所も白浜に比較的近かったところからみて、あるいはその影響かとも考えられる。図で20日に見られる気圧の谷はこの12号によるものである。

この時の水温変化の模様を生じる記録について見ることはさらに興味がある。**Fig. 30**に8月20日から21日にかけての記録を示した。記録中最も下方の線が水温である。8月20日23時30分頃から21日2時頃にかけて

て24°Cから21°Cの間に数回のはげしい往復が見られる。その変化の早さはにわかには信じ難い程の早さで、3°Cの変化がわずか10分程の間に起っているのである。さらに興味深いことは、その変化の両極がほとんどきまって24°Cと21°Cにあることで、この時は2時以後再び24°Cのレベルに返り、途中一度同種の変動をしているがおおむねその状態が続き、その後7時過ぎに突然21°Cに落込んで今度はほぼこのレベルに固着している。このような状況を解釈するには外海水と湾内水とにはかなりはっきりした差があって、いいかえれば、それぞれはかなりはっきりした水塊が形成されていて不連続的に接続しており、それらが移動もしくは交代することによって起ると考えるのが最も適切であるように思う。水塊の間の境界の巾は流速が20cm/secを越えていないことがわかっているから、100m程度という狭いものとなるが、考えられない値ではない。

このような水温の異常な変動は、この時ほど大きい例は少いけれども、たえず存在していることがその後の記録によってはっきりしてきた。**Fig. 31**にその1例が示してある。この例も変化のはげしい方で、約2時間に2.5°Cもの変化がみられる。普通の状態では水温は常識通り非常に安定していて、たかだか0.3°C程度の日変化と思われるわずかな変動があるに過ぎないが、ときどき比較的短時間——ほぼ1時間以内——の間に0.5°C程度以上の変化が起る。われわれはこれを水温の異常変化と名付けた。**Fig. 32**と**Fig. 33**とにそれぞれ約1ヵ月間の水温(No. 3)、気温(No. 1)および気圧(白浜通報所による)の3時間毎の読み取りが示してある。水温の異常変化の認められた場所はその大きさに比例する上向き、下向きの矢印で示してある。斜めの矢印は1時間以上の長時間を要してはいるが、その前後の逆方向の異常変化とちょうど見合う程度の温度変化が起った場所を示したものである。このように異常変化の中には比較的短時間後にそれと逆方向の変化が起って、差し引きとしては何も残らないものがあることがわかる。矢印の上に○印をつけたものは、そうではなくて正味として残ったとみられる水温の変化を示したものである。確かに、その前後において水温曲線に全体的に見て何か無意味でない変化が感知されるであろう。これらの正味の変化と変化との間では水温は概して単純な推移をしているように感じられる。われわれはこれらの正味として残る変化の場所で大きく水塊が移動し、おそらく湾内水と外海水との交代も起るのではないかと想像した。もしそうだとすると、平均的にみて0.5°C位の水温差をもった水塊の移動がほぼ3.5日に1回の割合で起っていることとなる。

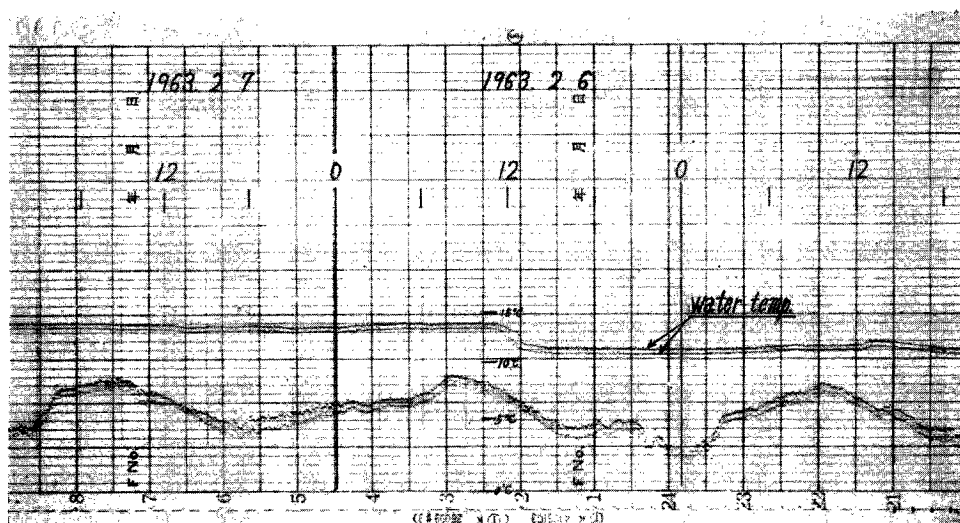


Fig. 31 An example record of abnormal change of water temperature

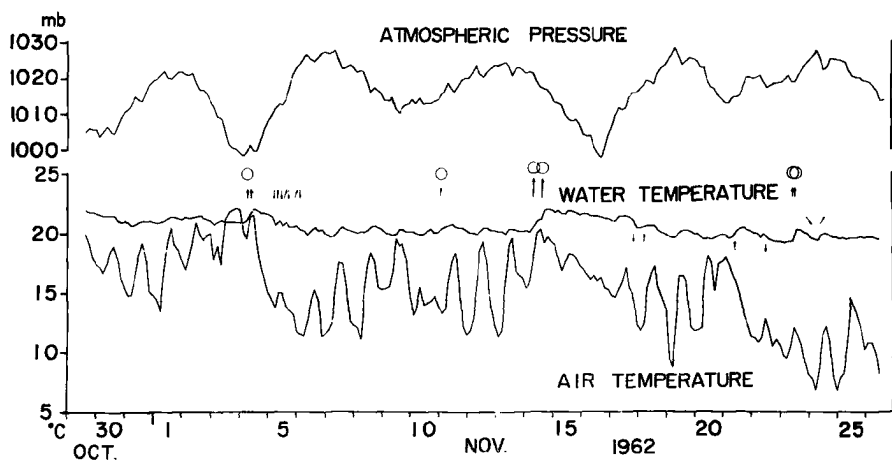


Fig. 32 An example figure showing character of water temperature change (1)

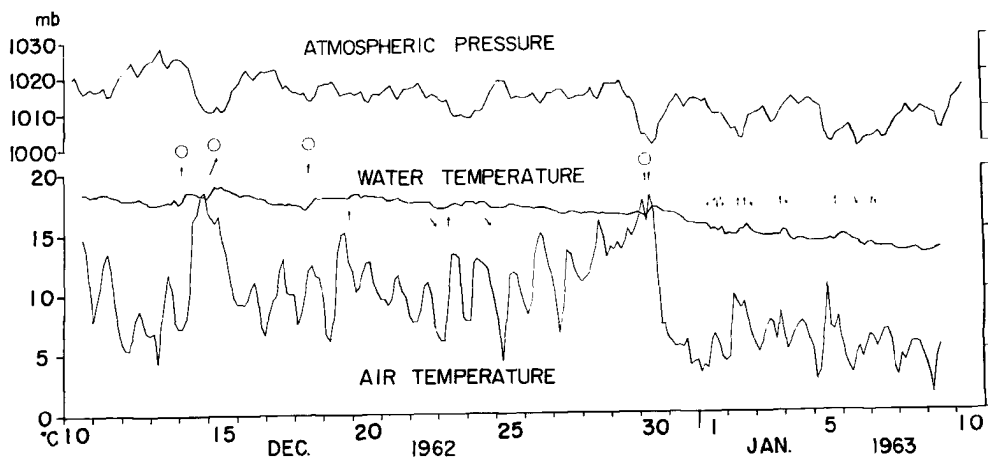


Fig. 33 An example figure showing character of water temperature change (2)

このような考えはもちろんまだ仮設の域をでない。したがって、これからさらにいたずらに想像の羽を伸ばすことは避けなければならないが、このような考えからこの種沿岸海域の海況変動に対する新しい見方が可能となるように思われる。それを述べる前に、まず二度続けて同方向の異常変化が起っている場合の時間間隔はだいたい6時間位であるところから、平均流速を 10 cm/sec 位と仮定してみると、水塊の規模はほぼ 2 km 位になる。また変化が普通30分位の間に起っているところからみて、その境界の巾は 300 m 位と考えられる。これらは、この湾の規模が $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ 程度、また平均水深 20 m 、潮差 1 m として、潮汐による海水の最大移動距離は 200 m 程度となるとところからみて考えられない値ではない。もし、このような水塊が現実存在し、さらにこれらの移動が単なる湾内部での相互的な位置の変化でなく、外海水との交代をとまなっていると仮定すると、これをより巨視的に一つの混合拡散とみなした場合、 0.5°C 差の長さ 2 km の水塊が3.5日に1回交代したとして、その拡散係数の値は $1.3 \times 10^9 \text{ cm}^2/\text{sec}$ となる。この値はこの程度の規模の湾における潮汐混合の係数にくらべて、むしろ大きいから、少なくともこのような水塊交代と

いう様式による沿岸海域の物理過程を新たに考えてみる必要のあることを示しているように思う。

これらの詳細については現在資料の整理を進める一方、別な角度からの観測をも行なって展開に努力中なので、別の機会にまとめて報告する予定である。ここでは水塊が存在するとして、その水塊の移動のはば半数が **Fig. 32, Fig. 33** に示した気圧との対応に見られるように、すこし鋭い前線の通過にもなっているように思われることを述べておくにとどめる。なお11月16日の鋭い気圧の谷は南方沖合を横切った台風28号によるもので、この時はその2日程前に水温の変化が起っている。天気図によるとちょうどこの頃南方洋上で台風の気圧深度が極大に達していることが興味をそそる。

5. あとがき

白浜海洋観測塔は空間に固定した座標系における海洋の連続観測という構想の本邦最初の具体化であるが、発足してなお日の浅いことや未経験からくる思いがけない失敗などのため、最近ようやく軌道にのりはじめたところで、その本格的な成果はなお今後にまたなければならぬ。しかし、この方法がいかに有力なものであるかということは、前節に見られるようにすでに明らかである。信じ難い程早い水温の異常変化などこれまで全く気付かれなかったことで、このようなしっかりした足場での連続観測なくしてはほとんど永久に見出されなかったであろう。海洋観測塔という構想の重要性はいくら強調しても足りない。気象研究所では本年度伊豆半島沖に海洋観測塔を建設する計画を実施しておられる。また全国の海域にこのような観測塔を多数設置しようという計画もあると聞く。海洋観測塔はいうならば気象観測における各地の気象台の観測設備に対応するから、気象観測に全国的な観測網があるように、海洋観測にこのようなとくに沿岸を対象とする海洋観測網があってよいことであろう。われわれはこれらによって沿岸からひいては大洋にいたる基本的物理過程連鎖の確実な科学的認識を確立する責務を感じる。

終りに、このような観測塔での測器と電源としての太陽電池の利用について一言ふれたい。海洋観測塔に陸地から電源をひきこむことは必ずしも不可能なことではない。しかし、できるならば塔自体でこれをまかなうことが望ましいのは当然で、われわれが実際にその構想に踏みきったのは、沿岸海域では測定精度の多少の犠牲は許されることを考慮すると、十分な可能性があることを認めたからである。しかし、もちろん問題が全くないわけではない。一般にもう少し精度の高い測定が望ましく、とくに塩分の自動記録など今一步の改良が切望される。この種の電力消費の少ない測器の開発を強く希望したい。これに関連して電源に太陽電池を利用する問題がある。この観測塔を設計計画していた1960年の当時は1Wの消費電力当り1,000,000円位で、実際問題として断念せざるを得なかった。しかし、3年後の今日ではすでに約半分の価格になっており、蓄電用の電池群を別にすると、さらにその半額の程度で可能になってきている。全部太陽電池に頼ることは経済的にまだ難点があるとしても、若干の太陽電池の併用によって消費可能な電力を倍の10W程度にひきあげることは現在すでに十分な可能性をもつ問題なのである。現在建設中の気象研究所の塔ではごく一部だが実際に太陽電池が採用されたと聞く。今後の塔の建設にこのことはさらに積極的に考慮されてよいように思う。なお、電波による遠隔測定方式も当然今後考えるべき問題であることをつけ加えておく。もし、それが可能となれば、塔自体はもっと簡単なものでよくなる可能性がある。

われわれは、この塔の建設に当って京都大学施設部のかたがたならびに瀬戸臨海実験所のかたがたをはじめ多数のかたがたから直接的間接的な多くの御援助を賜ったことに対して、ここに深く感謝の意を表わすものである。また、計器類の設置に縦横の活躍をしてもらった理学部の田中耕三郎技官、さらにこのわが国最初の観測塔建設の記録をつくるために大きな努力を払われた防災研究所の樋口明生助教授ならびに谷泰雄技官に対しては、ここにとくにこれを記してわれわれの心からの感謝の意とする。