

レーダを利用した湖流調査

遠藤修一・岡本 巖・奥村康昭¹・田村健志²
鷹野啓介³・濱井義明⁴・小谷拓司⁵・速水義孝⁶
浅田 浩⁷・川村尚雄⁸・岩根浩士⁹

Measurements of Lake Current by using a Radar

Shuichi ENDOH, Iwao OKAMOTO, Yasuaki OKUMURA
Takeshi TAMURA, Keisuke TAKANO, Yoshiaki HAMAI
Takushi KODANI, Yoshitaka HAYAMI, Hiroshi ASADA
Hisao KAWAMURA and Koshi IWANE

Abstract

In order to reveal the spacial distribution and time variation of water movement in Lake Biwa, a new method of drifter-tracking by using a radar has been developed. In this paper, the method and some results of recent observations are described.

By using a radar which is set on the lake shore or the island, it is possible to trace many drifters simultaneously even in the night time and under the bad weather condition. The position of a drifter which is constructed by a reflector, a buoy, a rope and a window-shade drogue, is photographed at constant time intervals. The accuracy of the reading of the position of a drifter is a distance of 0.01 nautical mile and an angle of one degree.

A counter-clockwise gyre in the north basin of Lake Biwa has been observed for three years by a radar which was set on the top of Take-shima. Some drifters, especially, drifters with window-shade at 10m-depth, moved round the center of this gyre once in about two days. A clockwise gyre which exists in the southern area of a counter-clockwise gyre, has also been measured in 1986, and drifters made a round once in two days. The positions of these gyre are much different from that estimated in the past. In addition, this observational method revealed the characteristics of the coastal current, inertia oscillation, internal waves, horizontal divergence and so on. The measured movement of a drifter should be made a correction of drag forces due to the wind and the vertical distribution of the lake current.

1：大阪電気通信大学、2：郁文中学校（京都市）、3：笠縫小学校、4：中主小学校
5：用瀬中学校（鳥取県）、6：野洲小学校、7：栗東西中学校、8：日枝小学校、9：八幡西中学校
1987年9月21日受理。滋賀大学湖沼実習施設業績305号

1. はじめに

水の動きを測定する方法として、定点において流速計を用いる方法（オイラー的測流）と漂流物を追跡する方法（ラグランジュ的測流）とがある。びわ湖における前者の例として、遠藤ら（1982 a, 1982 b）や奥村と遠藤（1985）などがあり、後者の例としては、森川と岡本（1960）、岡本（1964）、奥村と山本（1978）などを挙げる事ができる。

従来のラグランジュ的測流は、主として光学的な方法によっていたことにより、追跡可能距離が短く、また悪天候や夜間においては追跡不可能な場合が多かった。そこで、われわれは、船用のレーダを湖流の観測に利用することを考え、実用に向けての様々な準備や実験を経過し、現在ある程度の実績を挙げるに至った。

海洋においては、すでにレーダを利用した流れの観測例があるが（たとえば、川合ら、1970）、多くは船に搭載したレーダを用いるもので、船自身の位置の決定精度や船首方位の変化などの問題がある。これに対し、われわれは、レーダを陸上に固定し観測を行うことにより、漂流ブイの位置決定精度を向上させることができた。この小論では、観測手法の概要と、最近の数年に実施した観測の結果について述べる。

2. 観測方法

2.1 レーダ

湖流の追跡に用いているのは、標準的な船用レーダ（古野電気株式会社製、FR-101型）で、主な特性として周波数9410MHz、尖頭出力10KW、空中線の長さ1.23m、水平ビーム幅1.8°、鉛直ビーム幅25°などが挙げられる。記録は、10インチブラウン管上の輝点の読み取りと写真撮影によっている。読み取り精度は、方位角が約1度、距離が0.01マイルである（1マイルは1852m）。レーダの性能や操作については、すでに多くの書物に詳しいので（たとえば、笠原、1977；黒子、1975）、ここでは観測に必要な最小限度の記述にとどめる。

最大探知距離 L （単位はマイル）は、地球表面の曲率に依存し、空中線の高さを H (m)、対象物の高さを h (m) として、 $L = 2.23 (H^{1/2} + h^{1/2})$ で表される。たとえば、 $H = 10\text{m}$ 、 $h = 3\text{m}$ とすれば、 $L = 10.2$ マイルとなるが、実際には対象物の反射能力や、大気の状態などによって理論値の半分程度のことが多く、とくに降雨時において探知能力は著しく低下する。また、波浪の高い場合には、波の反射像によりレーダに近い物体が判別しにくくなる。これらの問題については、レーダ受像機のFTC回路やSTC回路によりある程度は解決できるが、観測条件としては晴天で風の穏やかな日が最良である。また、空中線の設置高度は高いほど良いので、多くの場合に高さ6mのアルミ製のタワー（ルーフタワー）の上に空中線を設置している。

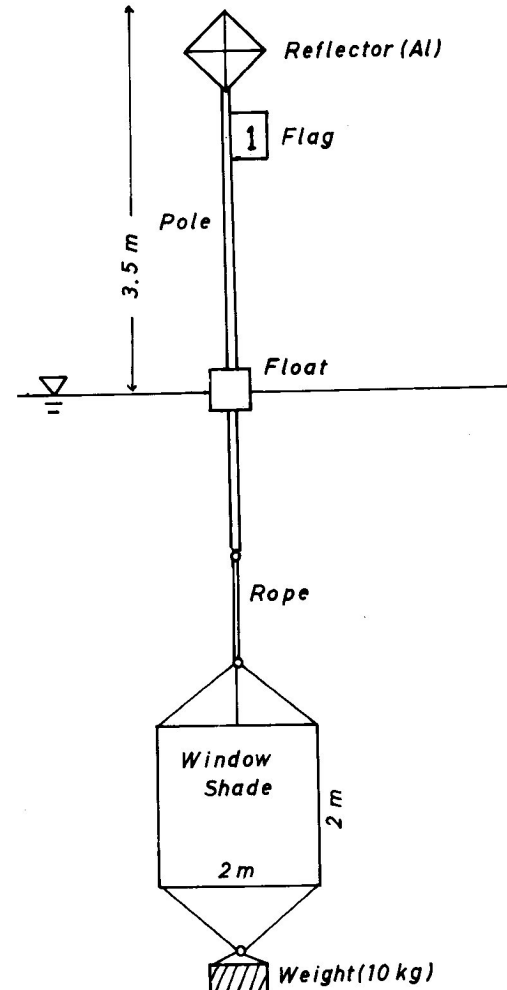


Fig. 1: A schematic picture of a drifter with a reflector and a windowshade.

管面の撮影は、専用の接写装置に一眼レフカメラ（現在はオリンパス OM-2、35mm レンズ）を取り付け、モータードライブにより行っている。フィルムは ASA100 のモノクロで、露出時間は空中線が 3～4 回転する時間、すなわち約 10 秒である。これは、速くのブイや反射効率の悪い物体が、必ずしも常には管面に写らないことがあるからである。撮影間隔は、調査の目的により選択し、時間間隔を任意に変えられる自動撮影装置（自作）を用いて、リモコンで行っている。撮影済みのフィルムは、後日写真引伸機などにより方眼紙に投影し、ブイの位置を読み取り、その後の解析に用いている。また、撮影と同時に、その時のブイの位置を読み取り、現場で流跡図を作成している。

2.2 漂流ブイ

レーダで追跡する漂流ブイの概形を Fig. 1 に示す。電波を反射するためのリフレクターは、穴あきアルミ板（アルミパンチング）を加工して作った一辺 45 cm の正八面体である。この形に落ち着くまでには、既成の反射板や試作の反射体などとの比較実験を経過している。

水中の抵抗板として、2 m × 2 m のポリエステル製の布（漂流布または window-shade）を用いている。これは、空気中の反射板にかかる風（空気）の抵抗が無視できないので、水中の抵抗をなるべく大きくする必要があるためである（風や流れの抵抗補正については後述）。海

洋では短冊型漂流板として細長い布が用いられているが（たとえば、平ら、1978）、びわ湖では流れの鉛直傾度が大い場合が多いので、布の長さとしては、2 m 程度が適当であろう。

竹竿の長さに関しては、水面からの高さが高いほど探知距離は大きくなるというものの、持ち運びや取り扱いの便を考慮すれば、3 m 程度が限度である。レーダ空中線を水面上 10 m 以上の高さに設置すれば、経験的には約 10 km の範囲までブイの追跡が可能である。

このようなブイを多数放流して、流れの水平・鉛直分布とその時間変化を観測するわけであるが、ブイの映像はレーダ管面には同じような輝点として現れ、ブイ相互の区別がつきにくい。そこで、船によってブイの識別を行い、無線電話により互いに連絡するようにしている。また、ブイが漁網にひっかかったり、漂流布が湖底に届いてブイが動かなくなったりしたような場合にも随時連絡をとり合い、回収・再放流を行っている。Fig. 2 に観測システムの模式図を示す。

3. 観測結果

ここでは、レーダを利用した湖流調査結果の中からいくつかを紹介したい。個々の観測結果についての詳しい解析については、すでに報告済みであったり、今後別に報告する予定であるので、今回は主にブイの流跡図を示すにとどめ

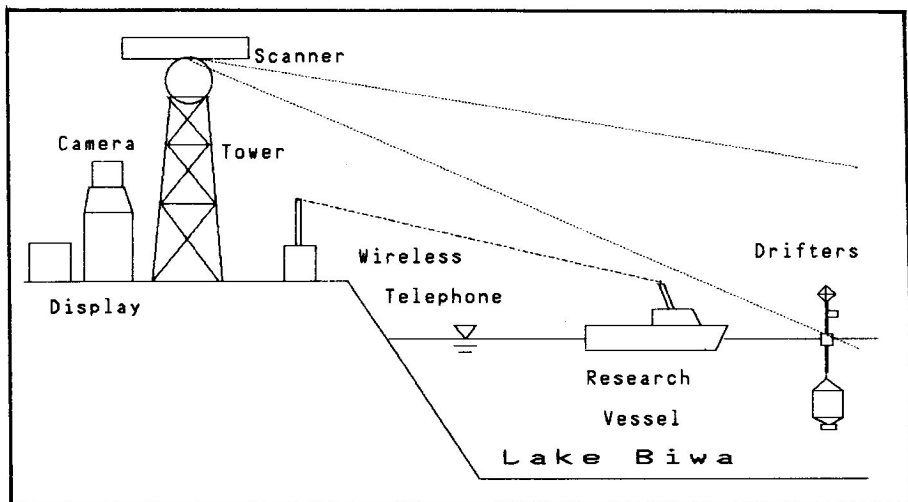


Fig. 2: An observation system of lake current by using a radar.

る。主な観測対象は、北湖の環流であるが、沿岸流や収束・発散などの調査結果についても触れる。

3.1 環流の観測

びわ湖の環流は有名であるが、その実態については意外に知られていないことが多く、最近の調査・研究によってようやく環流の実態や力学機構について解明がかなり進んできたというのが実状である。環流の観測例としては、ラグランジュの手法によるものとして、森川と岡本(1960)、岡本(1968)、遠藤(1984)などがあり、オイラー的手法によるものとして、遠藤ら(1982a)、奥村と遠藤(1985)などがある。また、環流は地衡流にかなり近いことにより、水温分布の観測結果から環流を推定する方法もしばしば用いられている(たとえば、岡本と森川, 1961; 遠藤ら, 1981; Endoh, 1978)。

北湖の中北部に存在する反時計回りのいわゆる第1環流は、春から秋の成層期において水温躍層が浅に安定して存在する(遠藤ら, 1981)。

Fig. 3～5は、第1環流の実態を解明するために、多景島の頂上にレーダを設置して行った漂流ブイ追跡観測結果を示したものである。レーダ空中線の設置高度は湖面上約20mであり、電源として携帯用のガソリン発電機を使用した。「本当にブイは一周するのか?」という素朴な疑問を解決するために、ムカデの大群に脅かされながらも毎夏3～4昼夜連続観測を継続した。

1981年の観測(Fig. 3)は、観測直前に10m/s前後の強い北風が約1日間連吹したために、環流が見かけ上西に移動し、その後、日を追って風が吹く前にあった位置に中心が戻ってくる様子を捉えている。とくに、一本のブイは移動した環流の中心付近で長時間停滞しているのが目をひく。全てのブイは10—20cm/sの速度で反時計回りに動いている。

1982年の観測(Fig. 4 a, b)は、観測期間を通して北—北西の強風が連吹し、特に9月3日から4日にかけて風速は10—15m/sに達した

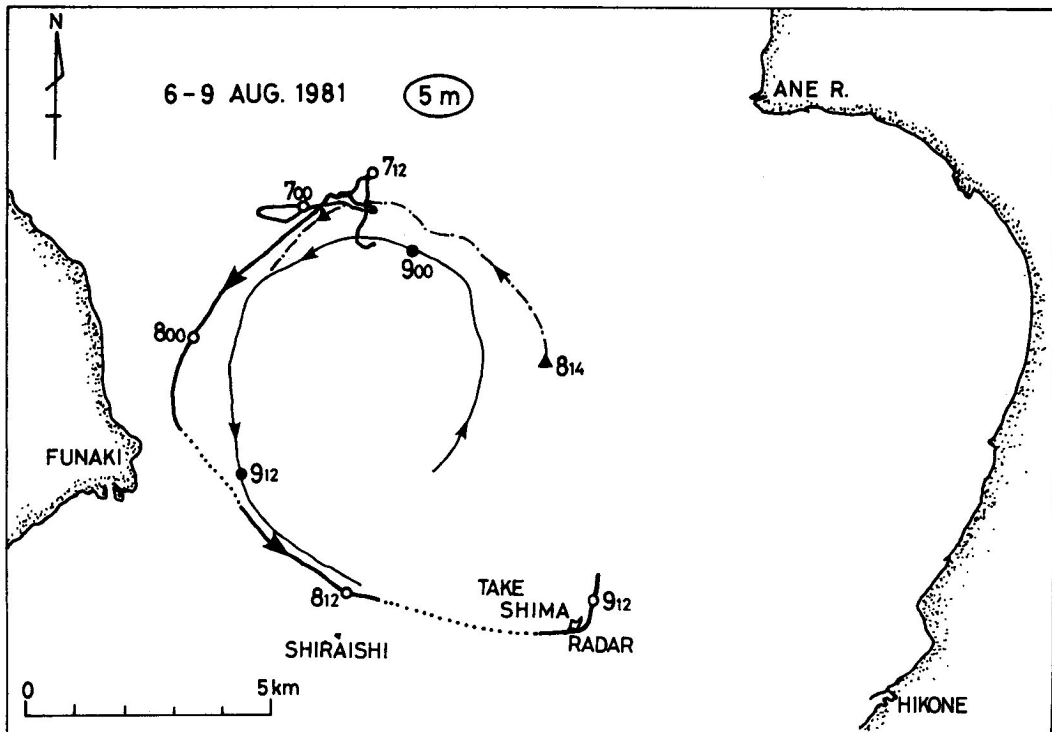


Fig. 3: Trajectories of three drifters in the north basin of Lake Biwa. A radar was set on the top of Take-Shima, 6-9 August, 1981. Numerals show the day and hour, e. g., 912 means 12:00 on August 9.

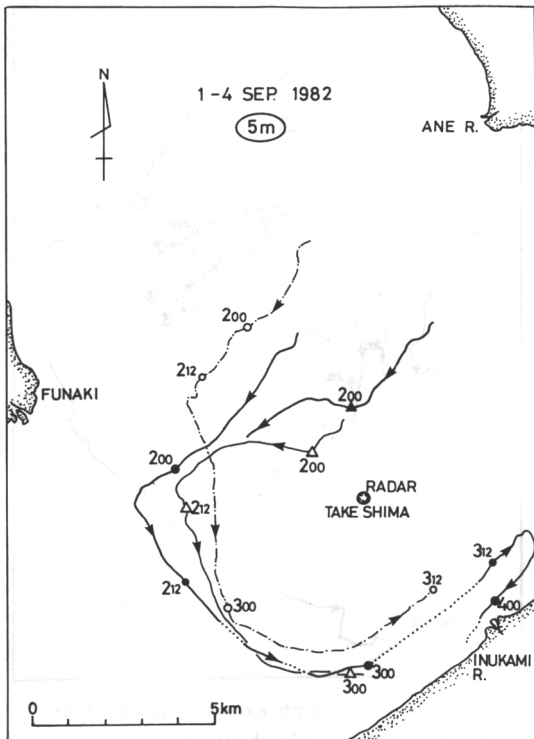


Fig. 4a: Trajectories of drifters of 5m-depth under strong NW wind. 1-4 September, 1982.

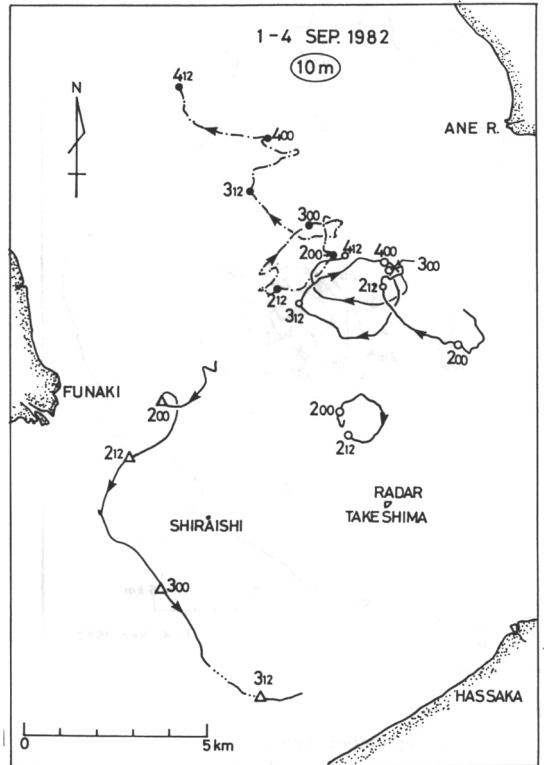


Fig. 4b: As in Fig. 4a, except of 10m-depth.

ために、ブイを確認するための調査艇が出航できないという事態にまでなった。漂流布を深さ5mに設置したブイの動きをみると (Fig. 4 a)、全てのブイがはじめ南西に動き、その後多景島を左にみて大きく弧を描きながらびわ湖の東岸に近づいている。このブイの動きは、おそらく環流と吹送流との共存によってもたらされたものであろう。深さ10mのブイ (Fig. 4 b) は5m層のブイとはかなり異なった動きをみせ、あるブイは北西の風に逆らって動いてさえいる。最も特徴的な動きは、多くのブイに共通して、時計回りに直径1—3kmの円を描いていることである。その周期が15—24時間であることから、この動きは慣性円と考えて間違いないだろう。

1983年は1982年とは全く逆に連日穏やかな天候に恵まれ、予定していた全ての観測を消化し、ついに完全に一周するブイを追跡することができた。Fig. 5 a—5 dに各深さにおけるブイ群の流跡を示す。深さ5mの9本のブイはすべて反時計回りに動き、あるものは約2日で一周し

ている。また、Fig. 5 bにみられるように、はじめのうちは円弧を描いているが、その後環流域から離れていくような動きを見せているものもある。これは、詳しい解析により内部波に伴う流れであることがわかっている。深さ10mの4本のブイは、ほぼ円形に近い軌跡を描いて約2日で一周している (Fig. 5 c)。詳しく調

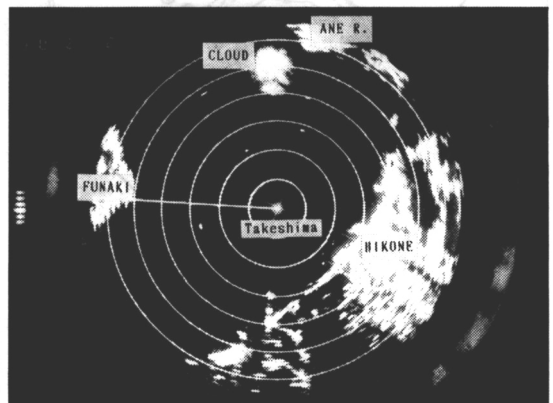


Photo 1. An example of a picture of radar display taken at Takeshima at 3:00 of September 2nd, 1983.

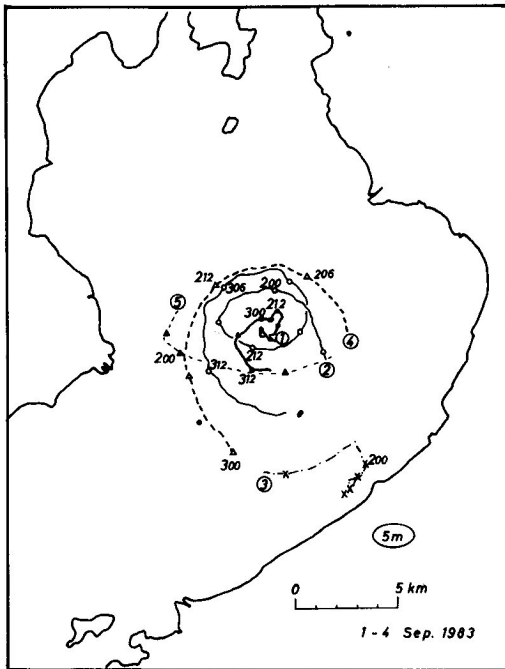


Fig. 5a: Trajectories of five drifters of 5m-depth.
1-4 September, 1983.

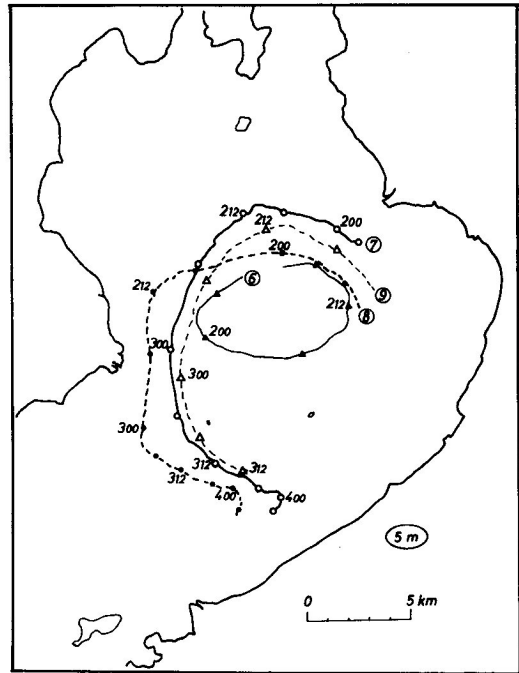


Fig. 5b: As in Fig.5b, except of another four drifters of 5m-depth.

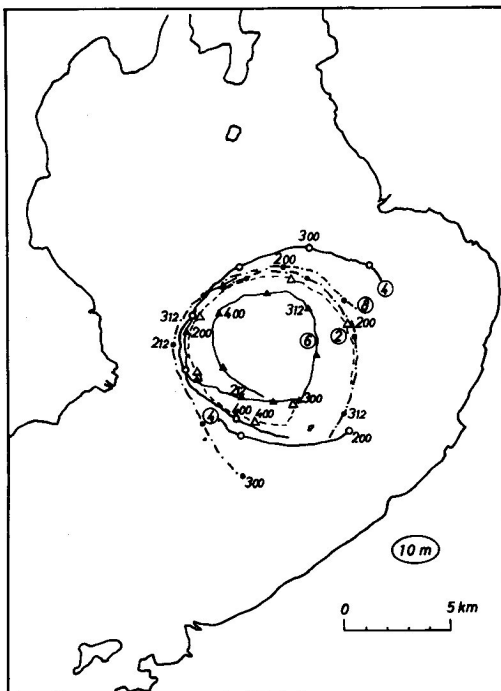


Fig. 5c: As in Fig. 5a, except of 10m-depth.

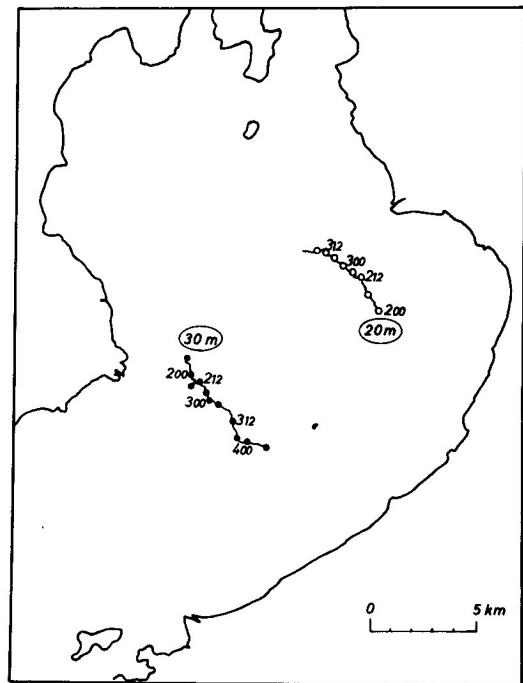


Fig. 5d: As in Fig. 5a, except of 20m and 30m-depth.

べると、これらのブイは少しずつ環流の中心に向かって収束して、環流に鉛直循環流が伴っていることを示唆している (Endoh, 1986)。20m 層と30m 層のブイの流跡をみると、流速はきわめて小さいものの反時計回りに動いている。この動きは、竹竿やロープにかかる流れの抵抗によって生じた可能性が強く、後で述べる補正を施した結果、20m 層では流速が4 cm/s から2 cm/s に減じ、30m 層では反時計回りの流れではなく、周期約17時間の時計回りの流速変動が卓越していることがわかった。レーダ管面の撮影例を Photo. 1 に示す。

従来から第1環流の南に時計回りの第2環流が存在すると言われてきた。時計回りの環流は、コリオリの力と遠心力とが逆向きであることから水温分布に現れにくく、環流の存在を検証するためには流れの実測が必要である。1986年に北湖西岸の北小松を基地としてレーダによる測流を実施した結果の一部が Fig. 6 である。いずれも深さ5 m の漂流ブイの流跡であり、明

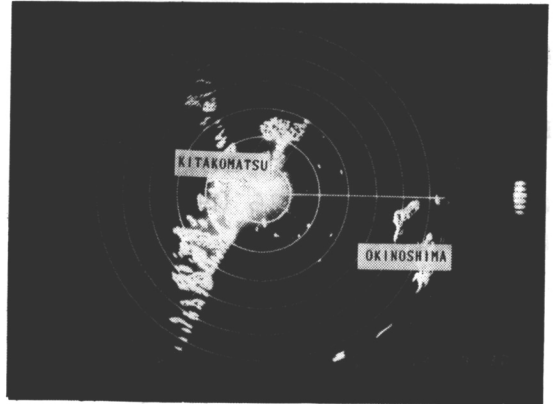


Photo 2: A picture of a radar display taken at Kitakomatsu at 21:30 of September 13, 1986.

神崎と沖島北端との中間あたりに環流の中心があることを示している。流速は、第1環流よりも若干小さいが、環流域が狭いために第1環流同様約2日で一周している。流速は西岸の明神崎沖で最も速く20cm/s を越えるが、時計回りの環流の性格上、第1環流のような円形ではな

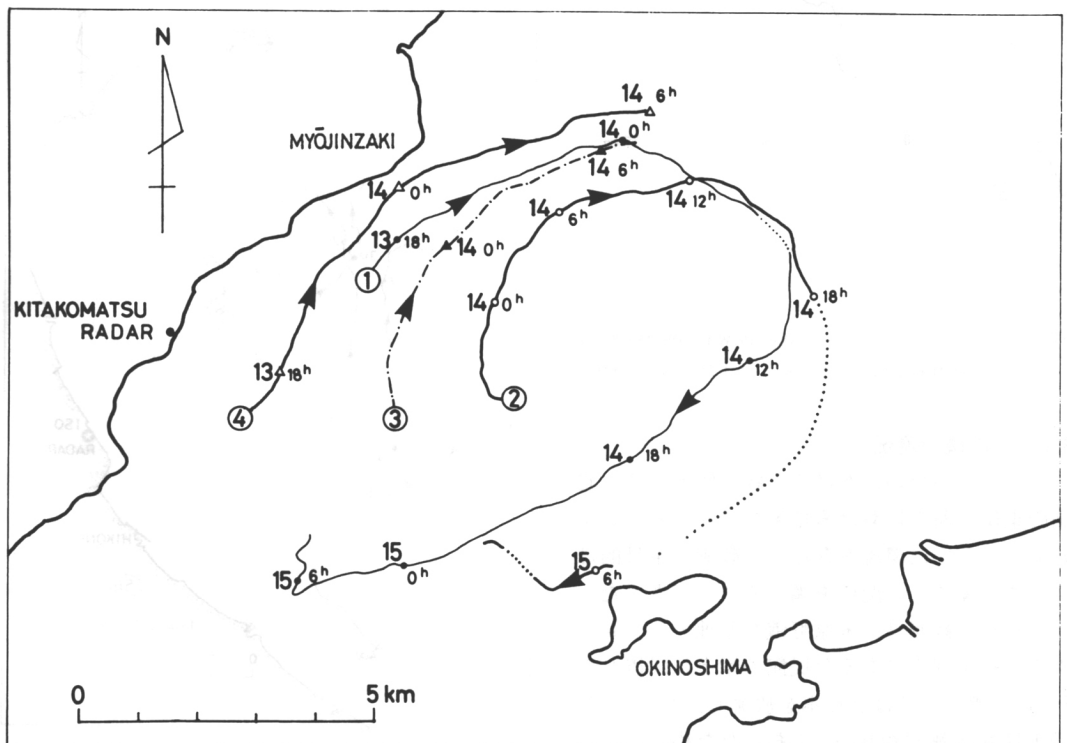


Fig. 6: Trajectories of four drifters of 5m-depth in the area of a clockwise gyre, 13-15 September, 1986.

く、楕円形の流れの分布を示す。Photo. 2は、第2環流域におけるレーダ管面の映像である。

1983年と1986年の観測結果を合成したのがFig. 7であり、反時計回りの第1環流と時計回りの第2環流の位置を示す。この結果は従来しばしば引用されてきた須田ら(1926)の結果とは大きく異なっている。

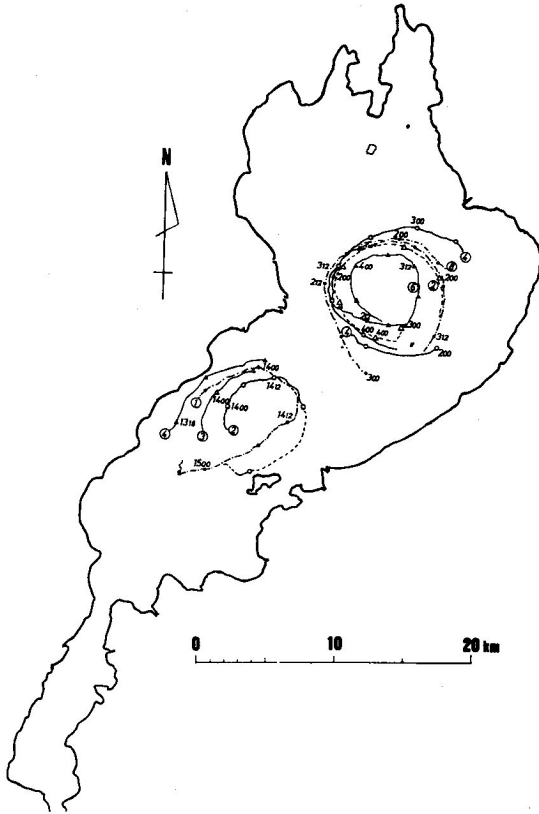


Fig. 7: A gyre system in Lake Biwa observed by radar tracking of drifters in 1983 and 1986.

3.2 沿岸域の流況

沿岸から沖合いにかけての観測例として、北湖の東岸と西岸における結果を紹介する。いずれも沖合いには環流が存在し、観測の主目的は沿岸流と環流との関係性を調べることであった。

1980年の観測は、米原町磯を基地とし、レーダ空中線を湖岸にある公民館の屋上に設置して行った。漂流ブイは計12本を放流し追跡したが、最大探知距離が約10kmであったために、いくつかのブイは環流に乗り遠くに流れ去り追跡不能になったが、約2日後に再び現れるといった

振舞いを見せた。天候は、8月1日の終日と2日の午後に5—10m/sの北～北西の風が吹いたのを除けば比較的静穏であった。

Fig. 8は観測結果の一部であり、深さ5mの4本の漂流ブイの流跡を示してある。この図から、沖合いにおいては南から北に向かってゆるやかな弧を描いて流れていることから反時計回りの環流の存在が認められる。一方、岸に近い水域では南に向かう流れがみられ、沖合いとは異なった流況を呈している。この沿岸域の流れは、主に風と内部波によって生じたもので、環流の勢力限界が岸から3～4km沖合いに存在することを示唆している。

これらのブイのうち、8月2日12時から翌3日12時頃にかけて岸から6km付近の水域でみられる時計回りの流跡は、風によって発達した慣性振動(慣性円)を捉えたものであろう。

1985年には、秋季の第1環流の動態を調べるために、西岸の舟木崎にレーダを設置し観測を

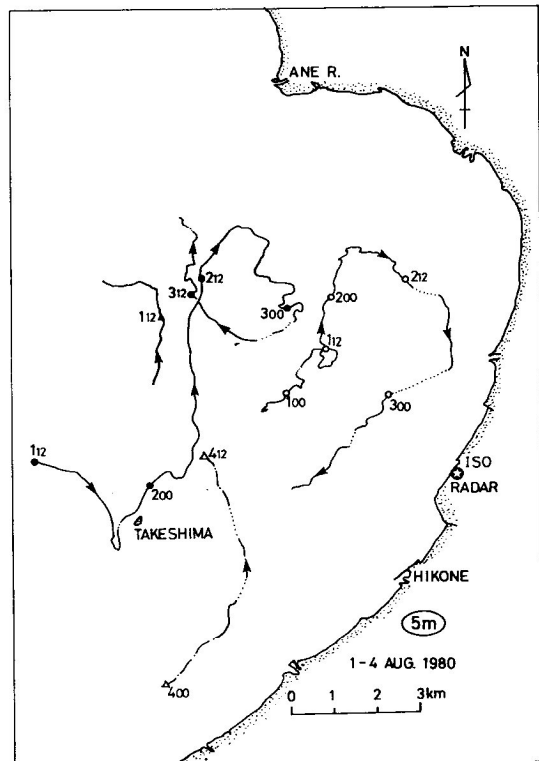


Fig. 8: Trajectories of four drifters of 5m-depth in the eastern part of north basin of Lake Biwa, 1-4 August, 1980.

実施した。設置場所は安曇川河口の砂浜で、タワー上に設置したレーダ空中線の高度は約7 mであった。すでに述べた最大探知距離は理論上約10マイルとなるが、降雨などの影響もあり、実際には約4マイル程度であった。したがって、結果的に環流の詳しい実態を捉えるまでには至らなかったが、この季節においても第1環流が存在することを裏付けるデータを得ることができた。

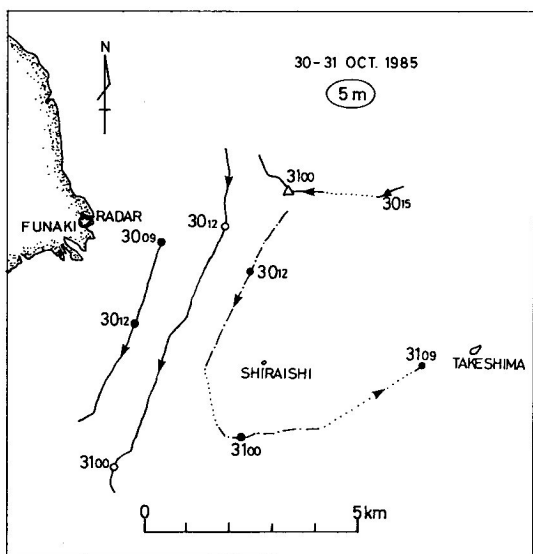


Fig. 9: Trajectories of four drifters of 5m-depth off Funaki, 30-31 October, 1985.

Fig. 9は、その結果の一部で、深さ5mのブイの流跡を示したものである。10月29日に5 m/s前後の東の風が吹いたが、その後は比較のおだやかであった。岸に近いブイは15-20cm/sで真っすぐ南に動き、岸から約4 kmで東に向きを転じ、反時計回りに動いているのがわかる。遠藤ら(1982 a)によれば、安曇川沖においては年間を通して南向きの流れが圧倒的に卓越するが、今回の観測結果も同様な流況を示している。図には示していないが、深さ15mのブイも5mのブイとほとんど同じ動きを見せたのは、この季節においては水温躍層が深さ20m付近にあり、深さ5mと15mがいずれも表水層の中に位置していたことによるものと考えられる。

3.3 収束・発散の観測例

1977年にびわ湖で初めての赤潮が発生し、特に北湖西岸付近に集積する機会が多いことが報告されてきた。われわれは、赤潮の集積機構の解明のために西岸の北小松沖を重点水域として調査を継続した(岡本, 1981)が、その一環としてレーダによる流況調査、とくに水の水平収束・発散に注目した観測を実施した。

Fig.10 a に示すように、北小松沖約3 kmの点を中心として、1 km 間隔の格子点を設け、9つの格子点および4つの正方形の中心点の計13点に漂流ブイを放流し、約2時間連続してレーダによる5分間隔の追跡を連日繰り返して行った。漂流布の設置深度はすべて2.5mである。レーダによる漂流ブイの位置読み取り精度が0.01マイル(約20m)であるため、収束・発散のような微量を求めるには多少問題もあるが、多くのブイを同時に追跡できる点において従来にないデータを得る可能性を評価したい。

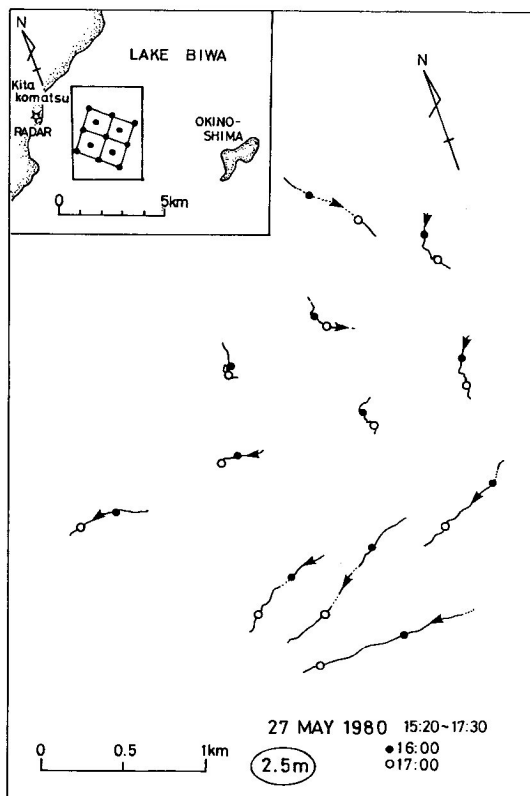


Fig. 10a: Trajectories of thirteen drifters off Kita-komatsu, 27 May, 1980.

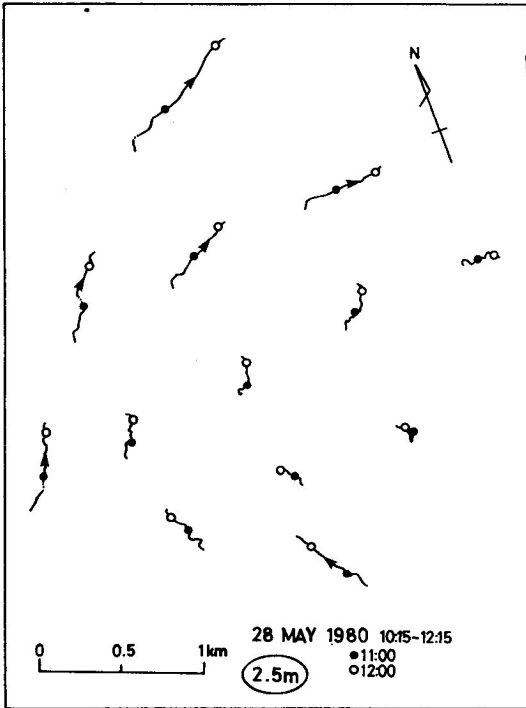


Fig. 10b: As in Fig. 10a, except on 28 May, 1980.

Fig.10 a は、1980年5月27日午後の観測結果であるが、この水域の流れは全体的に時計回りである。この程度の広さの水域においても、流れは場所的にかなり異なっていて、全体として 10^{-5} 1/s 程度の弱い収束がみられた。Fig.10 b は、翌28日午前の観測結果であり、前日とはかなり異なった流況を示している。すなわち、流れの分布は前日と同様に時計回りであるが、全体として北流が卓越し、流れは発散する傾向にある。このような流況の急変の原因については必ずしも十分な説明はなされていないが、赤潮の集積過程を考える上で興味のある現象である。

4. 測流結果の補正

レーダによって追跡されたブイの動きには、風や、流れの鉛直傾度による誤差が含まれている。従って、真の流速を得るためには観測結果に対して以下の補正が必要となる。

流体中におかれた物体には次のような力が働くことはよく知られている。すなわち、

$$\vec{F} = 1/2 \rho C S |\vec{u}| \vec{u} \tag{1}$$

ただし、 ρ : 流体の密度、 S : 流れに直角な物体の断面積、 C : 抵抗係数、 \vec{u} : 流速である。

この法則を漂流ブイの系 (Fig.11) に適用すると、系は一定速度 \vec{u} (観測値) で移動するから、系全体には力は働いていない。そこで、

$$\vec{F}_W + \vec{F}_S + \vec{F}_R + \vec{F}_D = 0 \tag{2}$$

が成り立つ。ただし、

$$\vec{F}_W = 1/2 \rho_a C_1 S_1 |\vec{W} - \vec{u}| (\vec{W} - \vec{u}) \tag{3}$$

$$\vec{F}_S = 1/2 \rho C_2 S_2 |\vec{u}_0 - \vec{u}| (\vec{u}_0 - \vec{u}) \tag{4}$$

$$\vec{F}_R = 1/2 \rho C_3 \phi \int_0^D |\vec{u}_z - \vec{u}| (\vec{u}_z - \vec{u}) dz \tag{5}$$

$$\vec{F}_D = 1/2 \rho C_4 S_3 |\vec{U} - \vec{u}| (\vec{U} - \vec{u}) \tag{6}$$

であり、 ρ_a : 空気密度 ($1.2 \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^3$)、 ρ : 水の密度 (1.0 gr/cm^3)、 S_1 : 反射板の断面積、 S_2 : 水中の竹竿の断面積、 S_3 : 漂流布の面積、 ϕ : ロープの直径、 \vec{W} : 風速、 \vec{u}_0 : 表面流速、 \vec{u}_z : 深さ z (m) における流速、 \vec{U} : 漂流布の設置深度における真の流速 (求めたい値) を表す。

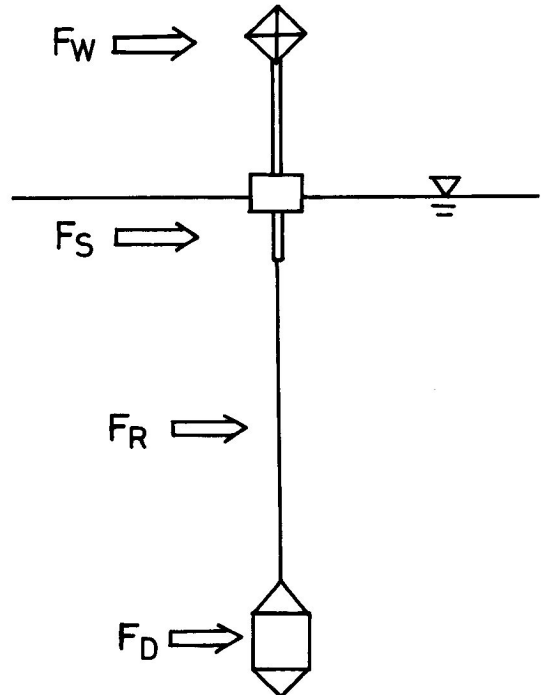


Fig. 11: Distribution of drag forces in the system of a drifter.

ベクトル式のままでは展開が困難であるので、上式を x, y の2成分に分解すると、

$$F_{Wx} = |\vec{F}_W| \sin \theta, \quad F_{Wy} = |\vec{F}_W| \cos \theta$$

となる。ただし、 θ は北を 0° とし、時計回りに測るものとする。

以下、簡単のために、 x 成分についてのみ考える。すなわち、

$$F_{Wx} + F_{Sx} + F_{Rx} + F_{Dx} = 0 \quad (7)$$

ここで、ロープにかかる抵抗 F_{Rx} について考えると、Fig.12より、

$$\begin{aligned} & \int_0^D |u_z - \mathbf{u}| (u_z - \mathbf{u}) dz \\ &= \sum_{n=1}^{k-2} (D_{n+1} - D_n) \{1/2(u_n + u_{n+1}) - \mathbf{u}\} \\ & \quad \times |1/2(u_n + u_{n+1}) - \mathbf{u}| \\ & \quad + (D_k - D_{k-1}) \{1/2(u_{k-1} + \mathbf{U}) - \mathbf{u}\} \\ & \quad \times |1/2(u_{k-1} + \mathbf{U}) - \mathbf{u}| \end{aligned} \quad (8)$$

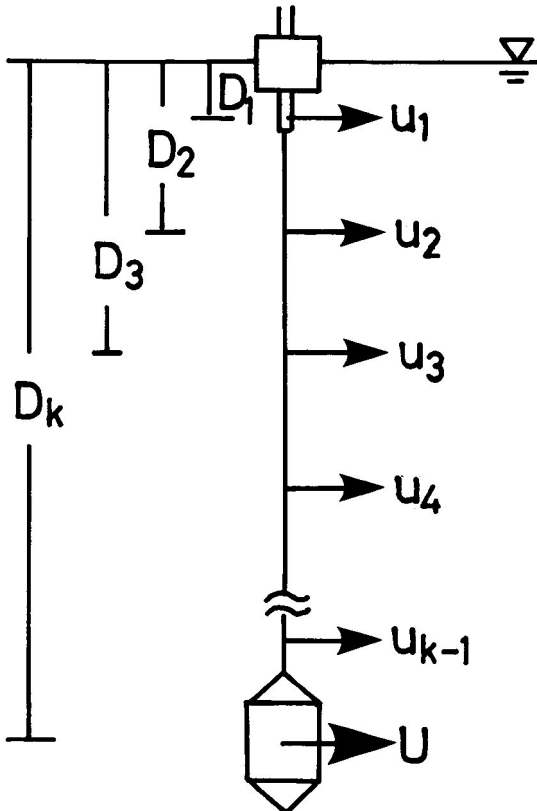


Fig. 12: Vertical distribution of current applied to the drag force F_R .

となる。すなわち、求めたい真の流速 \mathbf{U} は、 F_{Rx} と F_{Dx} に現れる。ここで、 $A=1/2\rho_a C_1 S_1$ 、 $B=1/2\rho C_2 S_2$ 、 $\alpha=1/2\rho C_4 S_3$ 、および $\beta=1/2\rho C_3 \phi$ 、 a =式8の第一項、 $b=1/2u_{k-1}-\mathbf{u}$ 、 $H=D_k-D_{k-1}$ とおけば、

$$F_{Wx} = A |W - \mathbf{u}| (W - \mathbf{u}) \quad (9)$$

$$F_{Sx} = B |u_0 - \mathbf{u}| (u_0 - \mathbf{u}) \quad (10)$$

$$F_{Rx} = \beta \{a + H(1/2\mathbf{U} + b) |1/2\mathbf{U} + b|\} \quad (11)$$

$$F_{Dx} = \alpha (\mathbf{U} - \mathbf{u}) | \mathbf{U} - \mathbf{u} | \quad (12)$$

以上を整理すれば、

$$\begin{aligned} & \beta \{a + H(1/2\mathbf{U} + b) |1/2\mathbf{U} + b|\} \\ & \quad + \alpha (\mathbf{U} - \mathbf{u}) | \mathbf{U} - \mathbf{u} | + A(W - \mathbf{u}) | W - \mathbf{u} | \\ & \quad + B(u_0 - \mathbf{u}) | u_0 - \mathbf{u} | = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

となり、この方程式を解けば、 \mathbf{U} が求められる。ただし、絶対値を含むので、4つの場合分けが必要である。

実際の漂流ブイへの適用として、 $S_1=1.4 \times 10^3 \text{cm}^2$ 、 $S_2=7.5 \times 10^2 \text{cm}^2$ 、 $S_3=4.0 \times 10^4 \text{cm}^2$ 、および $C_1=2.0$ 、 $C_2=0.9$ 、 $C_3=1.3$ 、 $C_4=1.45$ (実験値)、 $\phi=4 \text{mm}$ とすれば、風速 1m/s に対して表面流速の補正值として 0.7cm/s が得られる。また、表面と深さ 20m とで 10cm/s の流速差がある場合には約 1.3cm/s の補正を必要とする。

5. おわりに

船用レーダを利用した漂流ブイの追跡観測の方法と、観測結果の一部について述べた。まだ多少の改善点が残されているが、一応実用の段階にある。湖沼のような比較的狭い水域において、水粒子の動きを捉えるラグランジュ的測流法の一つとしてレーダの活用は極めて有効であると思われる。

最後に、レーダを利用した湖流観測に関しては、京都大学防災研究所の奥田節夫教授と京都大学理学部の今脇資郎助手から貴重な助言を頂いた。また、レーダの運用に関して、古野電気株式会社の多大な協力を頂いた。ここに記して深く感謝する次第である。また、観測に協力を頂いた多景島見塔寺、大阪ガス株式会社、滋賀県衛生環境センター、米原町磯公民館、琵琶湖

汽船株式会社、オーミマリンアンドサービス株式会社、および滋賀大学教育学部地学教室の多くの学生諸君と卒業生諸氏に厚く御礼を申し上げます。

文 献

- 遠藤修一 (1984) : びわ湖北湖の環流について (II) —実測流と地衡流の比較, 陸水学雑誌, 45: 289-295.
- ENDO, S. (1978) : Diagnostic analysis of water circulations in Lake Biwa. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 34: 250-260.
- ENDO, S. (1986) : Diagnostic study on the vertical circulation and the maintenance mechanisms of the cyclonic gyre in Lake Biwa. *J. Geophys. Res.*, 91C1: 869-876.
- 遠藤修一・岡本 巖・中井 衛 (1981) : びわ湖北湖の環流について (I) —水温分布からみた環流の変動一, 陸水学雑誌, 42: 144-153.
- 遠藤修一・岡本 巖・岸田玲子・木村隆浩 (1982 a) : びわ湖における流況の連続記録 (I) —彦根沖と安曇川沖の流況変動一, 水温の研究, 26: 5789-5801.
- 遠藤修一・岡本 巖・伴伊久夫・岡本拓夫 (1982 b) : びわ湖における流況の連続記録 (II) —南湖の流況特性一, 滋賀大学教育学部紀要 (自然科学), 32: 67-83.
- 笠原包道 (1977) : レーダ航法, 海文堂出版.
- 川合英夫・坂本久雄・百田方子 (1969) : 黒潮表層水の収束発散に関する研究 —海面における収束発散の実測とその解釈一, 南西水研報, 1: 1-14.
- 黒子三良 (1975) : レーダ映像の判読・航法とプロットイング, 成山堂書店.
- 森川光郎・岡本 巖 (1960) : 漂流瓶調査によるびわ湖の表面流について, 陸水学雑誌, 21: 173-186.
- 岡本 巖 (1964) : 漂流板によるびわ湖南部の湖流調査, 滋賀大学教育学部紀要 (自然科学), 14: 27-34.
- 岡本 巖 (1968) : びわ湖における水温の変動 (II) —湖流の変動に伴う水温分布の変動一, 滋賀大学教育学部紀要 (自然科学), 18: 53-64.
- 岡本 巖 (1981) : 湖水の流動及び収束・発散と浮遊懸濁粒子の集積, 「びわ湖におけるプランクトンの異常発生機構に関する調査研究報告」, 代表: 門田 元, 154pp: 104-111.
- 岡本 巖・森川光郎 (1961) : 密度分布より見たびわ湖の湖流について, 陸水学雑誌, 22: 193-200.
- 奥村康昭・山本淳之 (1978) : 漂流ブイの電波追尾による湖流観測 II, 大阪電気通信大学研究論集, 14: 97-108.
- 奥村康昭・遠藤修一 (1985) : びわ湖における連続測流 (I), —測流の方法と流況の概要一, 陸水学雑誌, 46: 135-142.
- 須田皖次・関 和男・石井次郎・高石静馬・水内松一 (1926) : びわ湖調査報告 第一編, 神戸海洋気象台彙報, 8: 1-103.
- 平 啓介・寺本俊彦・竹内謙介・奥島基良・藤縄幸雄 (1978) : 連続測定とテレメトリ, 「環境科学としての海洋学 2」堀部純男編, 318pp, 東京大学出版会: 201-233.

