

びわ湖の環流に関する一考察

* 遠藤修一・吉田真由美（滋賀大・教育），奥村康昭（大阪電通大・工）

1. はじめに

びわ湖の環流は有名であるが，その実態や力学機構には依然として謎が残されている。そのために，学術書や啓蒙書に掲載されている「環流」の記述は千差万別という感があり，中には明らかな誤りも見受けられる。このような状況は，研究者はもとより一般市民にも誤解を与えかねない。そこで，今回は従来の研究から明らかにされた環流像を整理し，いくつかの観測例を挙げながら今後の環流研究について考察してみたい。

2. 環流に関する従来の知見

1925（大正 14）年の海洋気象臺（神戸）による調査により，びわ湖北湖に 3 つの環流の存在が推定された。画期的な調査ではあったが，測流精度や観測の同時性などに問題は残る。また，いわゆる第三環流域での実測は皆無であったことを記しておく。

戦後の漂流瓶によるハガキ調査に始まった測流は，その後の漂流ブイや追跡方法（レーダや GPS）の改良により，環流の実態をすだいに明らかにしていった。1970 年代後半から自記流向流速計による連続測流が開始され，流れの時間・空間変動の機構の解明が急速に進んだ。また，ADCP による各層観測や移動観測によって，年間を通した湖流の水平・鉛直構造が解明された。これらの研究結果は，1925 年に提唱された環流像を大きく刷新し，主として 2 つの環流が成層期の水温躍層以下に安定して存在することを明らかにした。

一方で，環流が地衡流に近いことが明らかにされ，測流よりもはるかに容易な水温観測のデータに基づき，力学計算や診断モデルによる環流の流速場の解明が進んだ。また，環流に伴う鉛直循環についても評価がなされた。

環流の成因として風の渦度と太陽熱が考えられてきたが，それぞれの立場での数値実験や水理模型実験が行われ，びわ湖周辺の地形に起因する風の分布と，水深の違いによる非一様加熱効果の両方が環流の形成・維持に関わっていることが明らかにされた。

3. 最近の観測例

図 1 は，2007 年に沖白石付近で行った係留式 ADCP による測流結果である。第一環流による南東向きの流れが継続しているが，周期約 2 日の内部ケルビン波，周期約 12 時間の内部ポアンカレ波，および強風による吹送流などが混在している。注目すべきは，7 月上旬の約 10 日間に環流が消滅したような流況となっていることである。従来の観測でも，盛夏の 7，8 月に環流がいったん弱くなり，9 月に再び発達するという事例が報告されている。

図 2 は，2007 年秋の流速計の記録である。10 月の前半は，第一環流が流況を支配しているものの，10 月末になって急速に環流は減衰し消滅したように見える。

図 3 は，2007 年 8 月 4 日と 5 日の三次元水温観測から求めた力学高度と地衡流である。8 月 3 日の台風に伴う東寄りの強風の連吹によって 4 日には環流の中心が南東方向に偏っているが，翌 5 日には通常的位置に戻った。これは環流そのものの移動というよりも，強風による水温躍層の傾斜が環流と重なり合った分布とみるべきであろう。

4. 環流とは何か

びわ湖に限らず，多くの湖沼は閉鎖水域であるから，湖水の動きは水平または鉛直の循環を形成せざるを得ない。すなわち，原因が何であれ，水平方向の湖水移動は基本的に「水平循環流」である。

びわ湖の「環流」も水平循環流であるが，従来の研究成果を総合すれば，「バロクリニック（傾圧的）な準地衡流平衡にあり，比較的長いスピンドラウ時間を持つ流れ」ということができる。したがって，ある特定の時間断面で捉えた流れを「環流」と呼ぶことは誤解を生む危険性がある。冬季に時計回りの環流が存在するという報告があるが，バロトロピック（順圧的）な短命の水平循環を「環流」と称することには問題がある。流速計による測流結果によれば冬季には安定な湖流は存在しない。

びわ湖には環流の他に，内部波，吹送流，慣性振動，密度流などが共存し，現実の流況は相当複雑である。ただし，これらの流系はそれぞれの力学（スペクトル）を有するので，測流結果からある程度の流れの分解が可能である。

環流の形成・維持については，風の渦度や非一様加熱効果の他にもさまざまな機構が提唱されている。湖上での風の分布と変動，夏季における環流の一時的な衰退，秋季の環流消滅過程，沿岸ジェット流の形成と環流との関係など今後も多面的な追求が必要である。

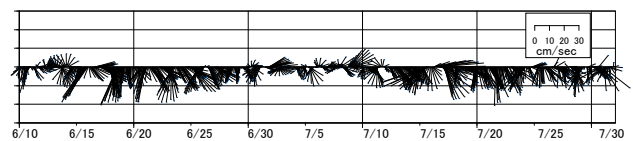


図 1. 測流結果（沖白石付近の深さ 9m）2007 年 6-7 月

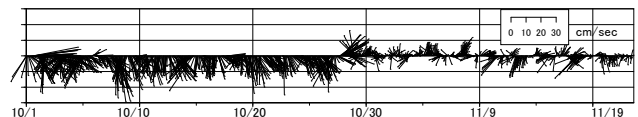


図 2. 測流結果（沖白石付近の深さ 9m）2007 年 10-11 月

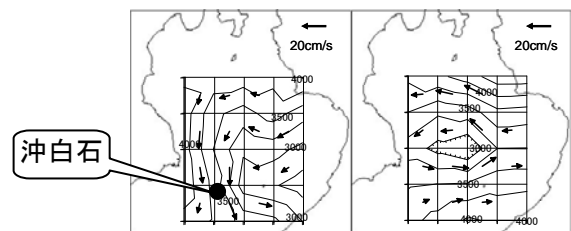


図 3. 水温分布から求めた 5m 層の力学高度と地衡流 2007 年 8 月 4 日（左）と 5 日（右）