

## 研究ノートⅢ

## びわ湖の流況解析におけるMSS赤外画像の応用

遠藤修一\*・奥田節夫\*\*・横山康二\*\*\*

## 1. はじめに

近畿1,300万人の「いのちの水」を湛えるびわ湖は、赤潮やアオコの発生に象徴されるように水質の悪化が進行し、水質問題はもとより総合開発計画によってもたらされるであろう様々な環境変化に大きな関心が寄せられている。水質、とりわけ湖水中の物質循環の機構を解明するためには、湖水の流動（湖流）に関する知識を欠くことができないにもかかわらず、びわ湖の湖流については依然として不明な点が少ない。

びわ湖の流況を捉えるために従来用いられてきた方法は、船による測点から測点への移動観測と、自記録計による定点での連続観測が主なものである。これらの方法は今後有力な方法であることは疑うべくもないが、これらの方法から得られるデータは多かれ少なかれ複雑に変化する現象の時間・空間に関する断片的な側面しか捉えていないことも事実である。これらを補うものとしてリモートセンシングの応用に期待が寄せられて久しいが、この小論では最近得られた航空機によるMSSデータから主として赤外画像(ch 11)に着目してびわ湖の流況の特性について考えてみることにする。

## 2. MSS赤外画像と水温分布

湖水の温度は、湖に生息する生物の分布や生産を規定するとともに、湖水の流動と力学的に密接な関係を有している。すなわち、湖の水温分布やその時間変化を知ることにより、流況を推定することが可能な場合が多い。MSSの赤外画像(8~14 $\mu\text{m}$ )から温度分布を求める試みは数多くなされているが、びわ湖のような淡水湖では水の密度は水温のみの関

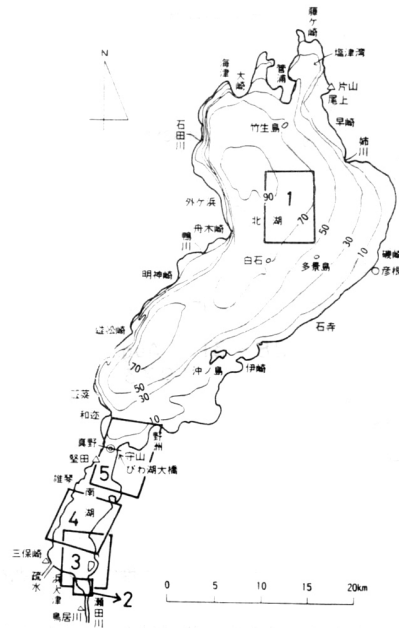


図1 びわ湖の地形とMSS赤外画像の撮影水域

\* 滋賀大学教育学部地学教室 助教授

\*\* 京都大学防災研究所 教授

\*\*\* 同上 技官

数であると考えられるため、流況の把握に水温の情報ばかりでは重要であると言える。

以下に示す赤外画像は、航空機によって撮られた MSS データを Q/L (クイック ルック) で視覚化したものである。当面の目的が、現在までに得られた数多くの MSS データから、流況解析に用いることのできる良好な画像を抽出することにあつたため、地形等の修正は行っていない。また、写真はカラー写真を白黒に焼付けたものであるため、白黒の濃淡が必ずしも水温の高低に対応していないことを断っておく(実際の配色は、青 黄 赤 黒の順に

高温となる) 各々の写真の撮影水域については、図1にまとめて示した。

### 3. びわ湖北湖の環流

びわ湖は一般にびわ湖大橋付近を境に「北湖」と「南湖」に区分される。北湖は面積約  $6.20 \text{ km}^2$ 、平均水深約  $4.0 \text{ m}$  の「小海洋」であるのに対し、南湖は面積、水深ともに北湖の約  $1/10$  に過ぎない。したがって、北湖では時間・空間規模の大きな流れが存在するが、その代表が「環流」と呼ばれる水平循環流である。

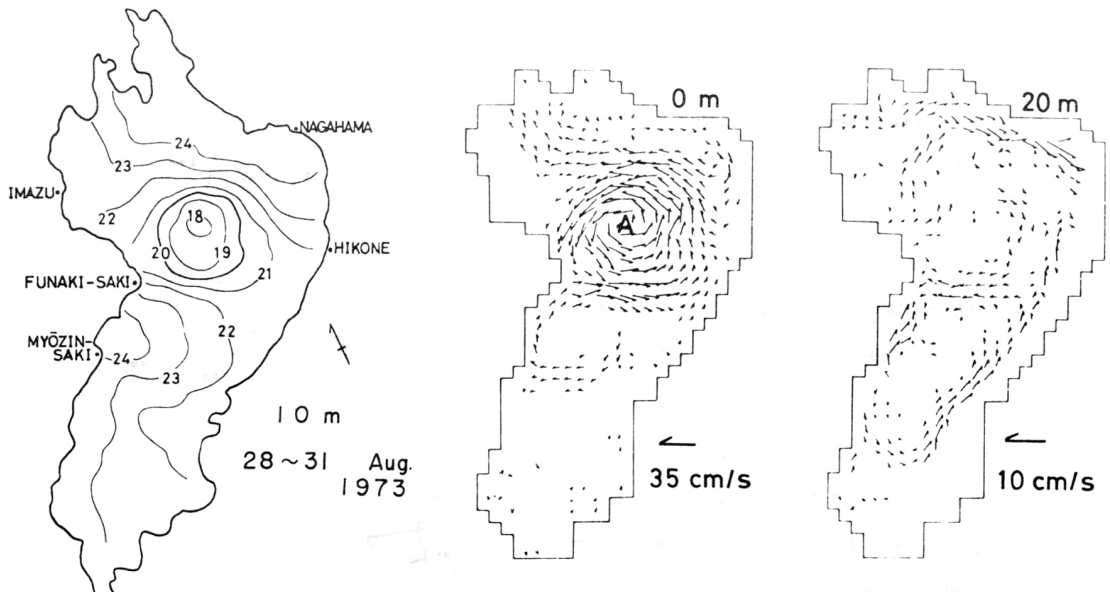


図2 夏季におけるびわ湖の水温分布(深さ10m)と 水温分布から診断モデルによって推定された湖流(深さ0m, 20m)

図2は、夏季における水温躍層付近の水温分布と、それから推定された流れの分布を示したものである(ENDO, 1978)。この図からわかるように湖の中北部に大きな反時計回りの環流が存在し、環流の中心部では著しく低温になっている。すなわち、

環流は地球自転の影響を受けた「地衡流」に近い流れであり、流れに伴った特徴的な水温分布をみることが出来る。このような水温分布は水温躍層付近(10~20m深)で顕著であるが、環流の勢力や季節によっては弱いながらも表面付近に現われる可

能性がある。



写真1 赤外画像によって捉えられた北湖の環流。黒が高温、白が低温を示す。  
1974年11月4日。

写真1は、1974年11月4日に撮影された赤外画像である。場所は図1に示すように北湖の中央やや北の8km×5kmの水域であり、黒が高温、白が低温を表わしている。この写真には明らかに周囲よりも低温な渦領域が存在し、その直径は約3km、中心と周辺部との水温差は約1.5℃である。また、低温水が反時計回りに渦状に中心部に巻き込まれている様子もうかがえる。

図3は、同年の10月18日に船によって実施された水温分布の観測結果から、水温躍層付近の深さにおける水温分布を示したものである(岡本,1978)。この図にも写真1の水域と同じ環流に対応した低温な水塊が存在している。この反時計回りの環流(第

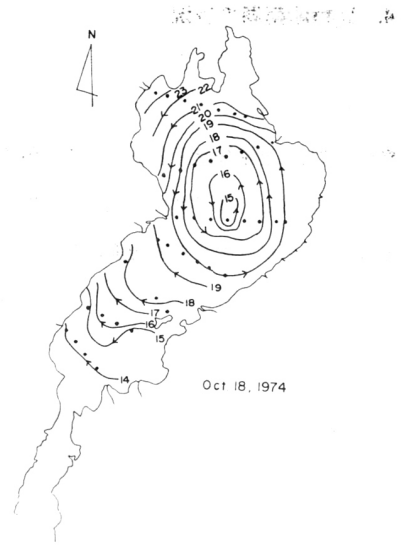


図3 写真1が撮影される約2週間前に観測された水温分布。

1環流)は成層期(春~秋)においてかなり安定してこの水域に存在することが知られている(遠藤ら,1981)が、環流の成因や変動の機構に関してはまだ不明な点が残されている。水温分布を通じて環流を捉える試みは従来しばしばなされてきたが、それらは船による移動観測によって得られた水温躍層付近の水温分布に基くものである。環流に対応する水温分布がたとえわずかであっても表面付近に存在する可能性は否定できない。しかしながら、表面水温は湖面と大気との熱交換により時間的・場所的に複雑な変動をみせることが知られていて、従来の移動観測によって環流に対応する水温差を検出することはきわめて困難である。写真1は環流を表面水温分布から捉えたはじめてのケースであり、このように環流が面的に捉えられることは環流の動態を知る上できわめて有効であるから今後可能な限りの反復観測が強く望まれる。

#### 4. びわ湖南湖の流況

びわ湖南湖は平均水深が約4 mという浅くて細長い湖盆地形を有し、北湖における流況とはかなり性格を異にした複雑な流況を呈することが多い。また、水質の面からも都市排水や工業廃水による汚染が進行しさらには浚渫や底曳漁あるいは風による底泥の巻き上がりなどによって見た目にもかなり濁った水となっている。

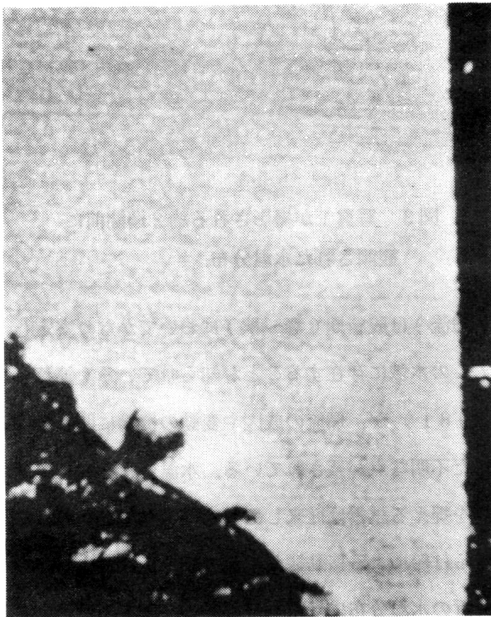


写真2 大津市から排出される温排水。  
1976年12月18日

写真2は瀬田川(びわ湖から流出する唯一の河川)の入口付近の赤外画像で、黒が高温、白が低温を示している。この写真には、冬季の低温な湖水の上に西岸から高温な水が流入し拡散している様子がはっきりと現われている。特に中央部の高温水は湖水中に放射状に拡がり、かなり沖合にまで達している。その他の高温水についても、岸からある範囲まで伸

び、瀬田川の流下方向に曲げられている。この高温水の起源はおそらく西岸の工場からの温排水であろう。このように、赤外画像はびわ湖においても温排水のモニタリングに有効であり、水上での調査と併せてくり返し実施することによって温排水の湖への拡散過程が把握できるものと考えられる。



写真3 南湖の南端付近の赤外画像。  
1974年11月4日

写真3は南湖の南端付近の赤外画像である。この水域の東岸の矢橋沖に下水処理場として人工島が造成され、それによる南湖の水質悪化がいろいろと議論されてきた。この写真は、矢板護岸工事が半ば完了した時期のもので人工島予定地には湖水とほぼ隔離された水が存在している。この水は明らかに低温であり、周囲の水との交換がなく停滞している様子がよくわかる。また、人工島と岸に囲まれた水域(水路)の水も同様に低温であり、人工島造成のためにこの水域の水が停滞しがちとなり、水質の悪化

を進行させるという結果を生み出している。次に、沖合の水温分布をみると、この水域の水がかなり複雑に混合しているのがわかる。また西岸の大津市の湖岸線が明瞭でないのは、この付近一帯の水が高温であり、陸上の温度とほぼ同じであることによる。これはすでに述べたように、大津市から排出される都市排水の影響と考えられる。

ところで、南湖にはしばしば汚濁水がみられるが、湖水中に漂う泥（浮泥）は水の流れの良い指標（トレーサー）となる。すなわち泥の拡散状態（拡散過程）を知ることにより、湖水の流動を推定することができる。写真4は、南湖中央水域で撮られたMSS

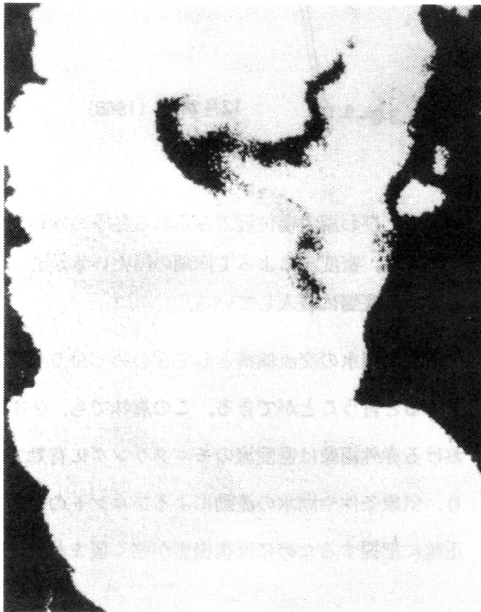


写真4 南湖における浮泥の分布、1976年3月25日。

の ch. 7 (0.65~0.70 $\mu$ m) の画像である。

びわ湖ではこの波長域が浮泥を捉えるのに有効であることが知られている（奥田・横山，1978）。

写真の黒く写っている部分が湖水中の泥が多い水域に相当している。泥の起源はおそらく左上の部分に錨置している浚渫船であり、ここから連続的に放出された泥がまず東向きに運ばれ、東岸付近で南北に分岐している。南湖では南寄りの風の吹送により反

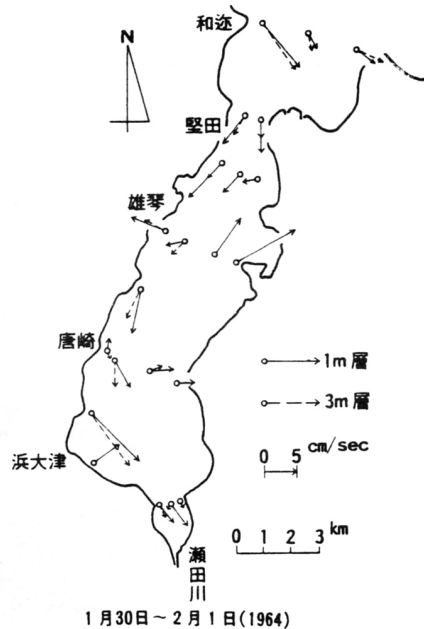


図4 南寄りの風によって形成される南湖の水平循環流

時計回りの水平循環流がしばしばみられるが（図4）、この写真で捉えられた泥の分布からも循環流の存在を認めることができる。

びわ湖においては、このようなMSS画像の利用のほかに、軽飛行機などによる航空写真から、豪雨後や融雪期に河川から湖に流入する濁水の分布が捉えられ、流況について興味ある結果が得られている（たとえば奥田・横山，1978）。

## 5. 北湖と南湖の境界付近の流況

北湖と南湖の水の交流の問題は、両湖の水質変化、

とりわけ南湖の汚れた水による北湖の水質悪化を考  
える上での基礎となるものである。両湖水の交流機  
構には様々なものが考えられているが、ここでは冬  
季にみられる水温のフロントとそれに伴う密度流に  
ついて述べることにする。



写真5 北湖と南湖の境界付近に形成された  
水温のフロント。1976年12月18日

晩秋から初冬にかけて湖水の冷却が続くと、両湖  
の熱容量の違いにより、びわ湖大橋付近に水温のフ  
ロント(不連続線)が形成される。写真5は赤外画  
像で水温のフロントが捉えられた例である。この写  
真からは、北湖の高温な水が南湖に流入し、びわ湖  
大橋よりもやや南で低温な南湖水との間にフロント  
を形成しているのがわかる。水温差は約3℃にも達  
し、北湖の水が南湖の西岸近くの最深部に沿って舌  
状に流入している様子がみとれる。

この写真にみられるようなシャープなフロントが

存在している時には、南湖の低温水が湖底の傾斜に  
沿って北湖に流入するいわゆる「密度流」が発生し  
ていることが多い。図5はその一例であり、密度流

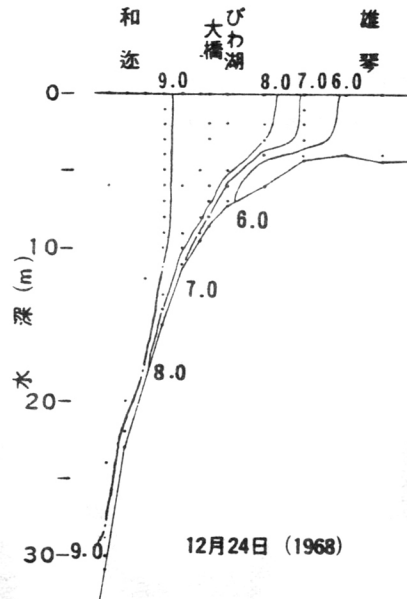


図5 びわ湖大橋付近でみられる冬季の水温構  
造。密度流によって南湖の冷たい水が北湖  
の底層に侵入している。

は南北両湖水の交流機構としてきわめて重要な現象  
であると言える。この意味でも、冬季に  
おける赤外画像は密度流のモニタリングに有効であ  
り 気象条件や湖水の流動によるフロントの変動を  
正確に把握するために反復撮影が強く望まれる。

## 6. おわりに

以上述べたように、びわ湖の流況を把握する上で  
赤外画像の有用性はきわめて高い。ただし、MSS  
の利点は、いくつかのチャンネルの組合わせによ  
って現象を理解することであるから、ここで示した写  
真はMSSの利用という点からみればごく初歩的な

ものにすぎない。しかしながら、水温と密度が等価である淡水湖において赤外画像から得られる情報は海洋や陸上におけるものよりもはるかに重要となってくる。現在までにびわ湖を対象とした数多くのMSS記録が得られていることを考えると、CCTによる画像処理などのソフト面の充実に加え、風、水温、流速、水位などの記録の活用により、さらに詳細な流況解析を可能とする努力が必要であろう。なお、ここで示した赤外画像は、日本造船振興財団による「日本国土海洋総合学術診断」事業によって得られたもので、図の多くは岡本(1971)より引用した。

## 文 献

- ENDO H, S. (1978) : Diagnostic Analysis of Water Circulations in Lake Biwa. J. Oceanogr. Soc. Japan, 34 : 250-260.
- 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, 陸水学雑誌, 42 : 144-153.
- 岡本 巖(1971) : びわ湖の湖流, びわ湖国定公園学術調査報告書, 滋賀県 : 177-213.
- 岡本 巖(1978) : 秋・冬季の湖流観測, LBI「びわ湖湖流の総合的観測とモニタリングに関する研究」, 滋賀県 : 5-7.
- 奥田節夫・横山康二(1978) : 航空機を利用した流れと拡散の観測, LBI 同誌 : 44-47.