

東京理科大学 正員 大林 成行

東京理科大学 正員○高橋 康夫

太平工業(株) 正員 荒川 健二

1. はじめに 比較的水がきれいな淡水域の物理現象をリモートセンシングデータ（可視・近赤外領域）によって追跡することは困難である場合が多い。それは、水面から放射されるエネルギー量が微量で、しかも変化が小さいといったことに起因する。そこで、リモートセンシングデータを利用した淡水域の物理現象の追跡には熱赤外領域（ $8\mu\text{m}$ ～ $14\mu\text{m}$ ）のデータから得られる水温情報を媒体とした方法が有効と考えられている。

熱赤外領域のMSSデータが地球表面の温度情報を我々に提供してくれることは良く知られている。しかし、その情報は地表面のわずか数 μm の温度情報であり、水域の物理現象を追跡するために重要な水面下の水温情報の入手は、従来から行われている離散的なサンプリング手法に頼るところが多く、各水深での2次元的な水温分布や水塊の把握が困難であった。

2. 研究の目的 本研究の目的は、従来、各水深における面的な情報の収集が難しいとされていた垂直方向水温の推定にリモートセンシングデータを利用した3次元的な解析を試みるとともに、リモートセンシングデータの新しい利用方法を提案しようとするものである。具体的には、琵琶湖を対象に湖上で観測した数多くの垂直方向水温の実測データと、航空機MSSデータの熱赤外情報の相関を求めて回帰モデルを設定し、回帰モデル式に従って垂直方向の水温分布図を作成する。

3. 使用データおよび解析概要 使用するデータは、①琵琶湖全域をカバーした航空機MSSデータ、②表面水温測定データ（実測データ）、③垂直方向水温測定データ（実測データ）の3種類である。表1にそれぞれのデータの詳細と解析作業についてまとめた。

垂直方向水温分布の推定には、多くの要素を考慮した上で、季節の異なる5種類のMSSデータ、水温躍層の形成が始まる時期として1981年4月7日と1983年4月21日のMSSデータ、水温躍層が発達過程にある時期として1981年5月31日と1982年5月17日のMSSデータ、そして、水温躍層が最盛期にある時期として、1982年8月2日のデータを使用した。いずれも琵琶湖全域を対象に観測・収集されたデータである。

つぎに、本研究で採用した垂直方向水温の推定についての考え方を示すと以下のとおりである。

いま、表面水温と垂直方向水温との間に何らかの相関が認められたと過程すると、水深 N m での水温と MSS データ（熱赤外領域）との間には、図-1 に示す関係を導くことができる。すなわち、表面水温の絶対温度に対応する放射エネルギー E_i 、表面水温の絶対温度を T_{si} 、表面水温を t_{si} 、水深 N m での水温を t_{Nj} とすると、ステファンボルツマンの法則より、

$$E_i = A \cdot T_{si}^4 + B \quad (T_{si} = t_{si} + 273.2) \quad (1)$$

が求まる。ここで、 A と B は E_i 、 T_{gi} より決定される係数であり、 i は観測されたデータ点を示す。また、表面水温と垂直方向水温との間に

$$t_{Ni} = f(t_{sj}, \dots) + g(Ni, \dots) + C \quad (2)$$

なる回帰モデル式を仮定することができる。そこで、(1)式および(2)式によりMSSデータと垂直方向水温との関係を導くことができる。

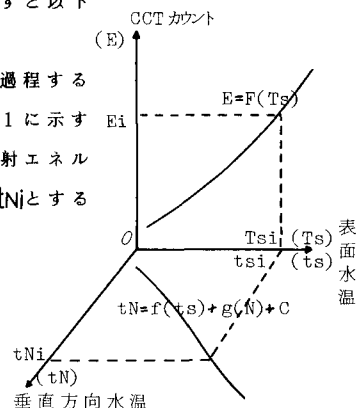


図-1 M S S データと垂直方向水温との関係

4. 垂直方向水温分布の推定とその結果 まず、使用する5つの航空機MSSデータと対応する垂直方向水温データ 937個について表面水温との関係を検討すると、表面水温と垂直方向水温（水深 1m, 5m, 10m, 15m, 20m）との相関係数が、0.83であることから両者は比較的高い相関を示している。そこで、表面水温と水深 1m, 10m, 15mでの垂直方向水温のそれぞれについて、表面水温を横軸に、垂直方向水温を縦軸にとり散布図を作成し相関係数を求め、前述の(2)式をもとに水深 1m, 10m, 15mでの水温の推定回帰モデルを求めた。図-2、図-3に散布図および回帰グラフの例を示すとともに、表-2に相関係数、重相関係数、回帰式を示した。

以上の解析結果から垂直方向水温推定について比較的良好な結果を得ることができリモートセンシングデータの有効な利用方法と考えられる。

表-1 利用データおよび解析概要

日 付	航空機MSSデータ(熱赤外)				垂直方向水温データ数(点)					
	コース数	高度(ft)	収集時刻	スキャナー	0m	1m	5m	10m	15m	20m
1981. 4. 7	7	12500	11:37 ~ 13:32	DS1250	46	46	46	46	46	46
1981. 5. 31	14	12000	7:52 ~ 10:32	DS1250	23	23	23	23	23	23
1982. 5. 17	16	10500	9:12 ~ 12:49	M ² S	69	69	68	63	59	57
1983. 4. 21	12	10500	8:30 ~ 11:00	M ² S	47	47	46	44	43	41
1983. 8. 2	3	16500	15:40 ~ 16:46	M ² S	11	11	11	11	11	11
解 析	熱赤外データを用いた温度スライス画像の作成				◎ 温度変換曲線の算定 ・ 実測値を用いた相関および回帰分析					

表-2 解析結果

日 付	水深(m)	相関係数	重相関係数	回帰モデル式	信頼性
1981. 4. 7	1	0.99363	0.99370	$T(N) = 0.86321 \cdot T_s - 0.22156 \times 10^{-1} \cdot N + 0.10123 \times 10^1$	○
	10	0.80621	0.80556		○
	15	0.67987	0.67925		△
1981. 5. 31	1	0.97435	0.97432	$T(N) = 1.01850 \cdot T_s - 0.16183 \times 10^0 \cdot N - 0.10517 \times 10^1$	○
	10	0.84500	0.84514		○
	15	0.78494	0.78500		△
1982. 5. 17	1	0.78093	0.78127	$T(N) = 0.69130 \cdot T_s - 0.41671 \times 10^0 \cdot N + 0.52621 \times 10^1$	△
	10	0.30245	0.30211		△
	15	0.38376	0.38445		△
1983. 4. 21	1	0.83178	0.83214	$T(N) = 0.66830 \cdot T_s - 0.70823 \times 10^{-1} \cdot N + 0.33120 \times 10^1$	○
	10	0.61160	0.61092		△
	15	0.49875	0.49894		△
1983. 8. 2	1	0.10661	0.09899	$T(N) = -0.27933 \cdot T_s - 0.75538 \times 10^0 \cdot N + 0.37276 \times 10^2$	X
	10	0.09502	0.09782		X
	15	0.10473	0.09013		X

注) ○:良好 △:比較的良好 X:なし

5. むすび 本研究では、表面水温、水深といった2つの項目を説明変数とする回帰モデルを設定し、垂直方向水温の推定に比較的良好な結果を得た。そして、水域の巨視的な水温情報の収集に、水塊の把握に有効な手法であることが判明した。しかし、熱伝導や季節といった要因を加味することで、さらに正確な情報の収集と現象の把握が今後、必要になってくると考えている。

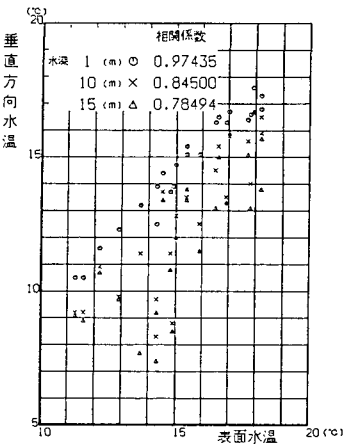


図-2 水温散布図

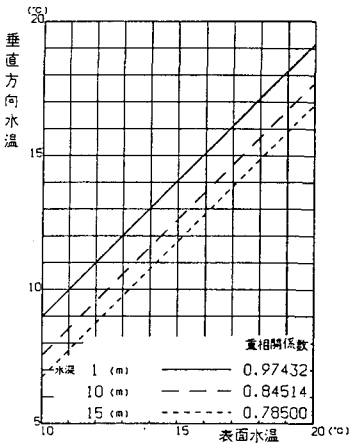


図-3 回帰グラフ