

ダム湖による気・水温環境の変化

近森 邦英・紙井 泰典
(高知大学農学部利水工学研究室)

Changes of the Environments of Air and Water Temperature by Reservoir

Kunihide CHIKAMORI and Yasunori KAMII
Laboratory of Water-Utilization Engineering, Faculty of Agriculture

Abstract : The effects of dam lake to the environment of air and water temperature are studied by observational and experimental method.

1. Nagase dam, which is in Ohtochi of Monobe village, is taken up as a example, and other 8 observatories were selected to compare with Ohtochi.

Differences of stochastic characteristics of two kinds of air temperature between two terms, namely one is without dam and the other is with dam, were tested with Lappage's test. And, the same method was done to the 8 observatories for the same period. Results were as follows :

(1) Monthly mean of the daily highest and lowest air temperature were tested, and found no significant difference between the two terms at a significant point of 5% on Ohtochi observatory. Some other observatories showed significant values in some months, but they were very small. The reason of these results were supposed to be the large potential heat capacity of the neighborhood of observatories.

2. Observation of convection cells in Nagase dam by thermography from autumn to winter showed the following linear relation between the length and height of thermal wave.

$$TH=0.00867 * TL+0.507$$

TH : height of thermal wave(°C)

TL : length of thermal wave(cm)

3. Observations of convection cells in a experimental tank by thermography showed a tendency of increasing of size of convection cells according as the depth increased.

4. Collectively, the following experimental equation was obtained for the relation between the length and the height of thermal wave.

$$TH=0.0154 * TL+0.165$$

キーワード : ダム湖 温度環境 対流 熱映像

1. まえがき

ダム湖が建設される場所はその規模が大きくなるに伴って大規模河川の上流奥深い山間になり、とくに冬期は厳しい気象条件にさらされるのが普通である。ダム湖に貯留された大量の水は、その大きな熱容量や蒸発熱により周辺温度環境の改善に資する事が期待される。このことは特に夏期の

酷暑の時期に都心部において予想され、池の周辺に植栽されている樹木の効果と相まって低温帯が形成されていることが東京都などで実証されている。このようなことは砂漠地帯に建設されたダム湖周辺では立証し易いだろうし、降水量が増加したという報告もみられる。ダム湖の効用の一つとして、周辺部の気・水温環境の改善が立証されれば、地域の活性化にも資する事が期待される。

II. 研究目的

わが国のように降水量が多く、ダム湖周辺が人工林であれ雑木林であれ森林地帯である場合に、ダム湖の建設によって周辺部の温度環境がどのような影響を受けるであろうか。ダム湖周辺の気象に影響する水塊という観点でみれば都心部と同じような現象が観測されるはずであるが、水塊の影響度はどの程度であろうか、検出可能であろうか等の問題を解明しようとした。

III. 研究方法

物部川上流の永瀬ダム湖を取り上げてダム湖の影響が無い高知県内8地点(土佐清水, 中村, 梶原, 越知, 本山, 大篠, 安芸, 野根)の気温データとを対比した。また、永瀬ダム湖の秋から冬にかけての湖水循環期における対流現象について、サーモトレーサーによる熱映像解析手法を用いて対流の規模などを観測し、水温計による観測結果と比較した。図1に各観測地点の位置、表1に永瀬ダムの主要諸元を示す。

表1 永瀬ダム諸元

堤頂標高	EL.202.0 m	湛水面積	2.084 km ²
堤高	87.0 m	総貯水容量	49,090 m ³
堤頂長	207.0 m	常時満水位	EL.196.0 m
集水面積	295.2 km ²	最低水位	EL.167.0 m

III-1 ラページ検定¹⁾によるダム湖出現前後の気温分布形の比較

2つの母集団分布の散らばりの程度が大体等しいことが分かっているとき、分布が同じであるという帰無仮定の検定法としてウイルコクソン検定法とコルモゴロフスミルノフの検定法があり、また、2つの母集団分布の位置が同じである事が分かっているときに、分布が同じであるという帰無仮定の検定法としてアンサリーブラッドレイ検定法とカイパー検定法がある。これらの検定法はそれぞれ有力な方法であるが、図2に示すような分布の場合は、適用を誤れば検出力は小さくなる。母集団に関して前もって情報がない場合に、例えどのような状況であっても有効な検定法として、上述の検定法をミックスしたラページ検定法がある。

2つの母集団分布 $f(x)$ と $g(x)$ からの標本を、 $x_1, x_2, \dots, x_{n_1}, y_1, y_2, \dots, y_{n_2}$ とする。これからウイルコクソン統計量 W と、アンサリーブラッドレイ統計量 A を次のように求める。

(1) ウイルコクソン統計量 W

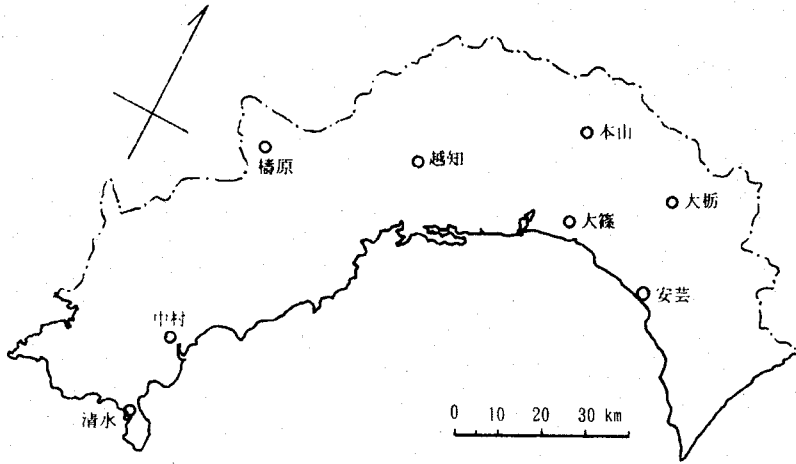


図1 気象観測所位置図

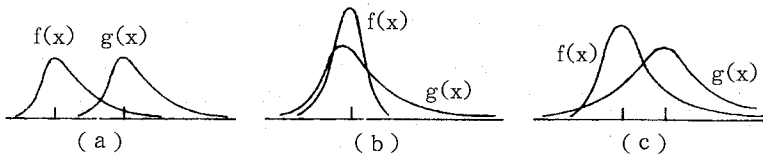


図2 f(x)とg(x)の位置と形状

$f(x)$ と $g(x)$ とは分布の形は等しく、もし違いがあるとすれば、それは位置に関してであるとしよう。調べたい仮説は、

帰無仮説： 母集団中央値は等しい

である。このため、大きさ $n_1 + n_2$ の標本を①式のように大きさの順に並べる。

$$Z_{(1)} \leq Z_{(2)} \leq \dots \leq Z_{(n_1+n_2)} \dots \dots \dots \text{①}$$

小さい方から数えて i 番目に位置づけられている $Z_{(i)}$ が、 x_1, x_2, \dots, x_{n_1} のいずれかであれば $u_i = 1$ とし、 y_1, y_2, \dots, y_{n_2} のいずれかであれば $u_i = 0$ とする。すなわち

$$u_i = \begin{cases} 1, & Z_{(i)} \in \{x_1, x_2, \dots, x_{n_1}\} \\ 0, & Z_{(i)} \in \{y_1, y_2, \dots, y_{n_2}\} \end{cases}$$

このとき、ウイルコクソン統計量 W は

$$W = \sum_{i=1}^{n_1+n_2} i u_i \dots \dots \dots \text{②}$$

と表される。すなわち、統計量 W とは、 x_1, x_2, \dots, x_{n_1} の順位の合計のことである。この W が著しく小さな値をとるときあるいは著しく大きな値をとるときは、帰無仮説を棄却することになる。その値は $n_1 + n_2$ に関する。

いま、2つの母集団中央値は等しいという帰無仮説が真であるとしよう。このとき

$$u = \frac{W - E(W)}{\{V(W)\}^{1/2}} \dots\dots\dots ③$$

とおくと、統計量uはn₁, n₂が10より大きい場合には、平均0、分散1の正規分布に近い分布をする。検定統計量uは標準正規分布に従うとすると、有意水準5%の検定は

$$|u| \geq 1.96$$

ならば、帰無仮説を棄却することになる。ここでWの期待値と分散は

$$E(W) = n_1(n_1 + n_2 + 1) / 2 \dots\dots\dots ④$$

$$V(W) = n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1) / 12 \dots\dots\dots ⑤$$

で与えられる。

(2) アンサリーブラッドレイ統計量A

2つの母集団分布の位置が等しいということが分かっているときに、分布の散らばりの程度に差がないかどうかを調べるのに非常に有効である。

n₁ + n₂ = 2Nとし、①式と同様に大きさの順に並べると⑥式となる。

$$z_{(1)} \leq z_{(2)} \leq \dots \leq z_{(n)} \leq z_{(n+1)} \leq \dots \leq z_{(2N)} \dots\dots\dots ⑥$$

いま、ウイルコクソン統計量の時と同様に

$$u_i = \begin{cases} 1, & z_{(i)} \in \{x_1, x_2, \dots, x_{n_1}\} \\ 0, & z_{(i)} \in \{y_1, y_2, \dots, y_{n_2}\} \end{cases}$$

が成立するものとする、アンサリーブラッドレイ統計量Aは

$$A = \sum_{i=1}^N i u_i + \sum_{i=N+1}^{2N} (2N - i + 1) u_i \dots\dots\dots ⑦$$

と書ける。この統計量Aの第1項は、z₍₁₎ ≤ z₍₂₎ ≤ … ≤ z_(N)について、ウイルコクソン統計量Wを計算したものであり、第2項はz_(N+1) ≤ … ≤ z_(2N)をz'_(N) ≤ z'_(N-1) ≤ … ≤ z'₍₁₎と書き換えてWを計算したものである。すなわち、z'_(N) = z_(2N), …, z'₍₁₎ = z_(N+1)として計算している。それぞれを加え合わせたものが統計量Aである。2つの母集団分布の位置がほぼ等しく、散らばりについては、f(x)からの標本のほうがg(x)からの標本より大きいときは、標本を大きさの順に並べると、f(x)からの標本は両側で多く、結局アンサリーブラッドレイ統計量Aは小さな値をとる。

逆にg(x)からの標本の散らばりが大きいときは、f(x)からの標本は中央部に多く、結果としてAは大きな値になる。すなわち、Aの値が著しく小さいとき、あるいは著しく大きいときは

帰無仮説：2つの母集団分布の散らばりの程度は同じである
を棄却することになる。Aの期待値と分散はそれぞれ

$$E(A) = \frac{1}{4} n_1 (n_1 + n_2 + 2) \dots\dots\dots ⑧$$

$$V(A) = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2) (n_1 + n_2 + 2)}{48 (n_1 + n_2 - 1)} \dots\dots\dots ⑨$$

となる。n₁, n₂が大きいときは

$$u = \frac{A - E(A)}{(V(A))^{1/2}} \dots\dots\dots ⑩$$

の分布は、帰無仮説のもとでは平均0、分散1の正規分布と大体一致する。標本の大きさ n_1, n_2 が10以上ならばこの結果を用いてよい。検定統計量 u は標準正規分布に従うとすると、有意水準5%の検定は

$$|u| \geq 1.96$$

ならば、帰無仮説を棄却することになる。

(3) ラページ検定

上述のウイルコクソン統計量 W とアンサリーブラッドレイ統計量 A を求め、それぞれの期待値と分散を計算したとすると

$$\text{帰無仮説} H: f(x) = g(x)$$

を検定する統計量 HK は

$$HK = \frac{\{W - E(W)\}^2}{V(W)} + \frac{\{A - E(A)\}^2}{V(A)} \dots\dots\dots ⑪$$

で与えられる。 n_1 と n_2 が大きいときは、帰無仮説のもとで統計量 HK は自由度2の χ^2 -分布と大体一致する。例えば、自由度2の χ^2 -分布の有意水準1%の点は9.21であるので、 HK の値がこれより大きければ、帰無仮説は有意水準1%で棄却される。

(4) 日最高気温の月平均に関する検定

永瀬ダム(大栃)は昭和32年8月に完成しているので、それ以前のデータ標本集団と昭和32年9月以降のそれとの間に統計的に有意な差があるかどうかを検定した。また、他の8地点のデータについても同様な検定を行い、2期間の標本集団間に有意な差があるかどうかを調べると共に、大栃のデータと比較した。表1に各地点の調査期間、データ数等を示す。

表1 各調査地点のデータ数など

地点名	調査期間	データ数
土佐清水	1940.1 ~ 1977.12	37 (1~8月は17+20, 9~12月は16+21)
中村	" ~ 1979.12	39 (" 17+22, " 16+23)
橋原	" ~ 1980.12	40 (" 17+23, " 16+24)
越知	" ~ 1977.12	37 (" 17+20, " 16+21)
本山	" ~ 1980.12	40 (" 17+23, " 16+24)
大篠	" ~ 1977.12	37 (" 17+20, " 16+21)
大栃	" ~ 1980.12	40 (" 17+23, " 16+24)
安芸	" ~ "	40 (" 17+23, " 16+24)
野根	" ~ 1977.12	37 (" 17+20, " 16+21)

[註] データ数欄の例えば17+20はダム建設前17、建設後20のデータ数を示す。

以下に各地点の計算結果を表示する。各表に HK が示されているが、自由度2の χ^2 分布の有意水準1%の点は9.21であるので、 HK がこれより大きければ帰無仮説 $f(x) = g(x)$ は有意水準1%で棄却される。すなわち、 $f(x)$ と $g(x)$ とは2個の相異なる母集団に属することになる。また、表中の

他の諸量は下記のような意味を持っている。

UW : ③式の u (ウイルコクソン統計量に対応)

W : ウイルコクソン統計量

UA : ⑩式の u (アンサリーブラッドレイ統計量に対応)

A : アンサリーブラッドレイ統計量

表 2-1 土佐清水

月	UW	W	UA	A	HK
1	1.112	359.5	-0.320	160.5	1.3
2	-0.686	300.5	-0.351	160.5	0.6
3	-0.716	299.5	0.595	175.5	0.9
4	0.899	352.5	0.046	166.5	0.8
5	-0.274	314.0	-2.792	120.0	7.9
6	0.396	336.0	0.870	180.0	0.9
7	-1.143	285.5	0.290	170.5	1.4
8	0.503	339.5	-1.663	138.5	3.0
9	0.720	327.5	0.552	165.0	0.8
10	1.533	354.0	-0.552	147.0	2.7
11	0.046	305.5	-0.767	143.5	0.6
12	0.123	308.0	-2.332	118.0	5.5

表 2-2 中村

月	UW	W	UA	A	HK
1	1.614	397.0	-1.829	142.0	5.9
2	0.453	356.0	0.723	187.0	0.7
3	2.167	416.5	0.383	181.0	4.8
4	3.427	461.0	-0.383	167.5	11.9
5	3.215	453.5	-1.573	146.5	12.8
6	4.277	491.0	-1.885	141.0	21.8
7	0.212	347.5	-0.383	167.5	0.2
8	3.654	469.0	-1.290	151.5	15.0
9	3.355	437.5	-0.886	148.5	12.0
10	3.326	436.5	-1.057	145.5	12.2
11	2.427	404.0	0.114	166.0	5.9
12	0.857	350.0	-1.600	136.0	3.3

表 2-3 檜原

月	UW	W	UA	A	HK
1	1.409	400.0	0.301	184.5	2.1
2	-0.233	340.0	1.013	197.0	1.1
3	0.000	348.5	-0.110	176.5	0.0

4	-0.438	332.5	-0.438	170.5	0.4
5	-0.657	324.5	-0.602	167.5	0.8
6	-0.534	329.0	-0.739	165.0	0.8
7	-1.984	276.0	0.137	181.0	4.0
8	-0.643	325.0	-0.411	171.0	0.6
9	-0.442	312.0	2.653	216.0	7.2
10	0.248	337.0	1.271	191.0	1.7
11	0.469	345.0	0.276	173.0	0.3
12	0.000	328.0	-1.271	145.0	1.6

表 2-4 越知

月	UW	W	UA	A	HK
1	1.585	375.0	-0.107	164.0	2.5
2	-0.518	306.0	-0.564	156.5	0.6
3	0.000	323.0	0.442	173.0	0.2
4	1.021	356.5	-0.381	159.5	1.2
5	0.000	323.0	-1.968	133.5	3.9
6	0.945	354.0	-2.731	121.0	8.3
7	-1.189	284.0	-0.717	154.0	1.9
8	2.057	390.5	-1.663	138.5	7.0
9	0.812	330.5	1.320	177.5	2.4
10	0.920	334.0	-1.289	135.0	2.5
11	0.153	309.0	-0.552	147.0	0.3
12	-0.092	301.0	-1.535	131.0	2.4

表 2-5 本山

月	UW	W	UA	A	HK
1	0.862	380.0	0.137	181.0	0.8
2	-0.397	334.0	1.835	212.0	3.5
3	-0.643	325.0	0.411	186.0	0.6
4	0.807	378.0	0.794	193.0	1.3
5	-0.383	334.5	-1.479	151.5	2.3
6	0.137	353.5	-1.917	143.5	3.7
7	-1.368	298.5	0.000	178.5	1.9
8	2.421	437.0	0.082	180.0	5.9
9	1.077	367.0	0.718	181.0	1.7
10	1.035	365.5	-0.138	165.5	1.1
11	0.483	345.5	-1.851	134.5	3.7
12	-0.359	315.0	-0.774	154.0	0.7

表 2-6 大篠

月	UW	W	UA	A	HK
---	----	---	----	---	----

1	1.021	356.5	-1.358	143.5	2.9
2	-0.960	291.5	1.266	186.5	2.5
3	-1.310	280.0	0.198	169.0	1.8
4	0.091	326.0	-0.595	156.0	0.4
5	0.244	331.0	-1.815	136.0	3.4
6	-0.198	316.5	-1.663	138.5	2.8
7	-2.011	257.0	-0.900	151.0	4.9
8	-0.655	301.5	-1.907	134.5	4.1
9	-0.077	301.5	1.719	184.0	3.0
10	1.058	338.5	-1.136	137.5	2.4
11	0.337	315.0	0.123	158.0	0.1
12	-0.230	296.5	-1.320	134.5	1.8

表2-7 大栃

月	UW	W	U A	A	HK
1	0.930	382.5	-0.657	166.5	1.3
2	-0.068	346.0	1.397	204.0	2.0
3	0.410	363.5	0.329	184.5	0.3
4	1.970	420.5	-0.438	170.5	4.1
5	0.192	355.5	-2.574	131.5	6.7
6	1.601	407.0	-1.506	151.0	4.8
7	-0.041	347.0	0.411	186.0	0.2
8	1.956	420.0	0.794	193.0	4.5
9	1.077	367.0	1.326	168.0	2.9
10	2.278	410.5	1.354	192.5	7.0
11	1.725	390.5	0.636	179.5	3.4
12	0.262	337.5	-1.575	139.5	2.5

表2-8 安芸

月	UW	W	U A	A	HK
1	1.368	398.5	-0.548	168.5	2.2
2	0.109	352.5	0.274	183.5	0.1
3	0.424	364.0	0.739	192.0	0.7
4	1.778	413.5	0.767	192.5	3.8
5	1.148	390.5	-0.329	172.5	1.4
6	1.272	395.0	0.082	180.0	1.6
7	1.040	386.5	0.110	180.5	1.1
8	3.064	460.5	0.110	180.5	9.4
9	1.505	382.5	1.851	201.5	5.7
10	2.733	427.0	-1.216	146.0	8.9
11	1.049	366.0	2.100	206.0	5.5
12	0.179	334.5	-1.409	142.5	2.0

表 2-9 野根

月	UW	W	UA	A	HK
1	-0.015	322.5	-2.212	129.5	4.9
2	-1.890	261.0	-0.839	152.0	4.3
3	-2.286	248.0	0.259	170.0	5.3
4	-1.509	273.5	-1.511	141.0	4.6
5	-2.682	235.0	-1.754	137.0	10.3
6	-1.981	258.0	-1.144	147.0	5.2
7	-3.977	192.5	-0.076	164.5	15.8
8	-4.571	173.0	-1.114	147.5	22.1
9	-1.502	255.0	1.657	183.0	5.0
10	0.046	305.5	-1.013	139.5	1.0
11	-0.950	273.0	1.043	173.0	2.0
12	-0.337	293.0	-2.271	119.0	5.3

(5) 日最低気温の月平均に関する検定

(4) と同期間の日最低気温の月平均について同様の検定を行った。結果を下表に示す。

表 3-1 土佐清水

月	UW	W	UA	A	HK
1	0.990	355.5	1.022	182.5	2.0
2	-0.869	294.5	0.961	181.5	1.7
3	0.427	337.0	-0.290	161.0	0.3
4	-2.331	246.5	-1.632	139.0	8.1
5	-0.930	292.5	-0.229	162.0	0.9
6	-0.015	322.5	-1.236	145.5	1.5
7	-1.676	268.0	0.870	180.0	3.6
8	-1.890	261.0	-0.656	155.0	4.0
9	-0.199	297.5	1.228	176.0	1.5
10	0.123	308.0	-1.105	138.0	1.2
11	0.031	305.0	-1.412	133.0	2.0
12	0.092	307.0	-2.179	120.5	4.8

表 3-2 中村

月	UW	W	UA	A	HK
1	0.821	369.0	-0.354	168.0	0.8
2	-0.297	329.5	0.865	189.5	0.8
3	0.312	351.0	-2.452	131.0	6.1
4	-2.931	236.5	-0.836	159.5	9.3
5	-1.260	295.5	-2.396	132.0	7.3
6	-0.779	312.5	-2.821	124.5	8.6

7	-1.161	299.0	-0.128	172.0	1.4
8	-0.425	325.0	-1.517	147.5	2.5
9	-0.343	308.0	1.343	187.5	1.9
10	0.585	340.5	-0.086	162.5	0.3
11	0.514	338.0	-0.857	149.0	1.0
12	1.656	378.0	-1.629	135.5	5.4

表 3-3 檮原

月	UW	W	UA	A	HK
1	1.929	419.0	1.671	209.0	6.5
2	0.698	374.0	1.780	211.0	3.7
3	1.382	399.0	-0.630	167.0	2.3
4	-1.108	308.0	-0.575	168.0	1.6
5	-0.356	335.5	-1.588	149.5	2.6
6	-0.205	341.0	-0.137	176.0	0.1
7	-0.027	347.5	0.712	191.5	0.5
8	0.479	366.0	-0.520	169.0	0.5
9	0.635	351.0	1.271	191.0	2.0
10	1.160	370.0	-0.332	162.0	1.5
11	1.656	388.0	-0.221	164.0	2.8
12	3.313	448.0	0.111	170.0	11.0

表 3-4 越知

月	UW	W	UA	A	HK
1	0.320	333.5	0.076	167.0	0.1
2	-1.417	276.5	0.107	167.5	2.0
3	-0.213	316.0	-1.449	142.0	2.1
4	-3.200	218.0	-0.656	155.0	10.7
5	-3.261	216.0	-1.907	134.5	14.3
6	-0.762	298.0	-1.937	134.0	4.3
7	-2.286	248.0	0.381	172.0	5.4
8	-2.392	244.5	-0.870	151.5	6.5
9	-0.353	292.5	2.302	193.5	5.4
10	-0.598	284.5	-0.522	147.5	0.6
11	-0.536	286.5	-1.258	135.5	1.9
12	0.138	308.5	-0.829	142.5	0.7

表 3-5 本山

月	UW	W	UA	A	HK
1	1.819	415.0	1.068	198.0	4.5
2	0.889	381.0	0.794	193.0	1.4

3	0.999	385.0	-0.466	170.0	1.2
4	-1.655	288.0	-1.068	159.0	3.9
5	-0.698	323.0	0.027	179.0	0.5
6	-0.260	339.0	-0.192	175.0	0.1
7	-0.219	340.5	0.548	188.5	0.3
8	0.492	366.5	-0.657	166.6	0.7
9	0.649	351.5	0.525	177.5	0.7
10	0.497	346.0	-0.332	162.0	0.4
11	0.152	333.5	-0.525	158.8	0.3
12	2.457	417.0	0.497	177.0	6.3

表3-6 大篠

月	UW	W	UA	A	HK
1	1.417	369.5	0.107	167.5	2.0
2	0.427	337.0	0.992	182.0	1.2
3	1.189	362.0	-0.839	152.0	2.1
4	-2.255	249.0	-0.473	158.0	5.8
5	-0.747	298.5	-0.992	149.5	1.5
6	0.762	348.0	-1.205	146.0	2.0
7	0.168	328.5	-1.480	141.5	2.2
8	-0.625	302.5	-1.053	148.5	1.5
9	0.414	317.5	1.688	183.5	3.0
10	0.904	333.5	-0.896	141.5	1.6
11	1.380	349.0	-0.921	141.0	2.8
12	1.119	340.5	-2.179	120.5	6.0

表3-7 大栃

月	UW	W	UA	A	HK
1	-0.055	346.5	-0.383	171.5	0.1
2	-0.944	314.0	0.794	193.0	1.5
3	0.711	374.5	-0.164	175.5	0.5
4	-1.819	282.0	-1.013	160.0	4.3
5	-2.257	266.0	-0.685	166.0	5.6
6	-0.725	322.0	-1.671	148.0	3.3
7	-1.040	310.5	1.205	200.5	2.5
8	-1.710	286.0	-0.685	166.0	3.4
9	0.138	333.0	1.658	198.0	2.8
10	0.110	332.0	-1.326	144.0	1.8
11	-0.331	316.0	-0.940	151.0	1.0
12	0.207	335.5	-0.138	165.5	0.1

表3-8 安芸

月	UW	W	UA	A	HK
1	0.246	357.5	0.767	192.5	0.6
2	-1.587	290.5	0.602	189.5	2.9
3	-0.821	318.5	-0.548	168.5	1.0
4	-3.119	234.5	-0.329	172.5	9.8
5	-2.709	249.5	-0.274	173.5	7.4
6	-2.312	264.0	-0.192	175.0	5.4
7	-3.967	203.5	-0.055	177.5	15.7
8	-3.133	234.0	-1.725	147.0	12.8
9	-1.560	271.5	1.299	191.5	4.1
10	-1.933	258.0	-1.050	149.0	4.8
11	-1.601	270.0	-0.055	167.0	2.6
12	-0.345	315.5	-0.967	150.5	1.1

表3-9 野根

月	UW	W	UA	A	HK
1	-0.213	316.0	-0.168	163.0	0.1
2	-2.301	247.5	-0.351	160.0	5.4
3	-1.874	261.5	-0.625	155.5	3.9
4	-4.236	184.0	-0.168	163.0	18.0
5	-3.688	202.0	-1.571	140.0	16.1
6	-2.042	256.0	-1.846	135.5	7.6
7	-3.185	218.5	0.046	166.5	10.1
8	-3.413	211.0	-1.266	145.0	13.3
9	-2.069	236.5	0.276	160.5	4.4
10	1.272	262.5	0.215	159.5	1.7
11	-1.165	266.0	-1.657	129.0	4.1
12	-1.012	271.0	-1.105	138.0	2.2

(6) 考察

大柵の気象観測所はEL.210mにあり、常時満水位との標高差は14mである。満水時の湖岸との最短距離は50m程度である。貯水位はWL.180~190mの間にある場合が多い。従って、気象観測所と湖面との高度差は20~30mの場合が多い。風向は最高気温に関係する日中が湖面からの吹き上げ、最低気温に関係する夜間から早朝が山地からの吹き降ろしと考えられる。従って、単純に考えれば、ダム湖出現に伴って日最高気温の分布幅は狭くなるが日最低気温の分布形におけるダム湖出現前後の有意差は現れないと推測される。このことはラベージ検定においてHKが日最高気温では大きく、日最低気温では小さく現れる事が期待されることになる。

さて、(4)-7及び(5)-7に示した検定結果を見ると、日最高気温では $0.2 \leq HK \leq 7.0$ 、日最低気温では $0.1 \leq HK \leq 5.6$ となっており、何れもダム湖出現前後における有意差は認められないことになる。すなわち、少なくとも大柵気象観測所においては気温に対するダム湖の影響は無視できることになる。

同期間における高知県内他地点の状況はどのようであろうか。図1を参照して(4)と(5)の表を見てみると、日最高気温では中村の4, 5, 6, 8, 9, 10月と野根の5, 7, 8月が有意差があることを示しているが、土佐清水、梶原、越知、本山、大篠、安芸の6地点は有意差が無い。また、日最低気温では中村の4月、梶原の11月、越知の4, 5月、安芸の7, 8月、野根の4, 5, 7, 8月が有意差の存在を示している。これらのことから、高知県の東西の端寄りの海岸部で晩春から夏にかけて有意差が多く現れていることがわかる。しかし、それらの有意差は小さく全体的に見て大した差は無いといえよう。

以上述べたことを総括すると、永瀬ダム湖出現に伴うダム湖近傍(湖面との高差20~30m, 距離50~100m程度)の日最高・最低気温への影響は無視できると言える。

しかし、池や湖水の存在による周辺部気象の緩和については幾つかの論文があり、とくに都心部において効果が認められている。例えば、神田らによる東京工業大学近くの洗足池及びその周辺における気温分布の測定結果²⁾などである。永瀬ダム湖周辺と洗足池周辺とにおいてこのような相違が生じる理由は、永瀬ダム湖周辺は殆ど森林地帯であって熱容量が大きく、湖上と隣接地帯上との温度差は小さいが、一方洗足池周辺は僅かな林地の外側は広範囲に亘ってコンクリートやアスファルトで舗装された熱容量の小さな空間が広がっており、池付近とその外側との温度差が大きいためであろう。

Ⅲ-2 熱映像による秋~冬期のダム湖対流セルの観測

ダム湖の水温垂直分布は1年を周期として変化していることは周知のとおりである。この変化は、洪水流入による急激な変化は別として、大気と湖水との間の熱交換が主たる要因である。春から秋にかけて気温の高い時期は表層に1個あるいは複数の水温躍層を持って成層状態にあるが、気温の低下につれて表層から冷却され密度成層が逆転し対流が生じる。この現象は湖面上の気温の上昇をもたらすものであり、ダム湖周辺の気象の緩和に寄与していることは明かである。しかし、その影響範囲は永瀬ダム湖では比較的狭いと推測されることはⅢ-1で述べたとおりである。

ダム湖の対流現象は夏期でも早朝の気温低下時に第1躍層までの表層において小規模に発生しており、第1躍層の深化を生じている。この対流は秋から冬にかけて気温が低下するにつれて次第に大規模になり、ついにはダム湖全体の大循環に発達する。しかしこの大循環の対流セルは1個ではなく、平面的に多数の小さな対流セルが、降下・上昇の過程で合同・分裂を繰り返しながらも、深さ方向には水深の大きさを持って集まっているものと推定される。

この対流現象について水面の温度分布を熱映像として捉え、そのスケール、発生消滅の周期、諸環境条件の影響などを研究し、その上単純化した条件の下での水槽実験を行うことにより、ダム湖が周辺熱環境に与える影響の基礎資料を得ようとした。

本研究に用いた主要機器は以下のとおりである。

- ・サーモトレーサー (日本電気三栄製熱映像解析装置TH1101型)
- ・カラービデオコピープロセッサ (三菱電気製SCT-CP200型)

(1) 永瀬ダム湖における観測

堤体の左岸側のダム管理事務所から17時~翌朝8時まで5分毎に15時間連続観測した。観測諸元は下表のとおりである。

カメラの俯角は冷却装置による制限や撮影範囲を考慮して30°とした。

本観測は気象条件により厳しい制約を受ける。すなわち、雨天の場合は観測機器の設置が困難な上に気温と水温の差が小さくなり対流発生条件が悪くなる。曇天も同様で、強風時は波のために対流セルが不鮮明になる。さらに、月明があると画像にその影響が現れるので不適當である。このよ

うな影響を避けて、平成4年10月下旬から12月下旬にかけて5回の観測を行ったが、対流の発生状況や撮影画像の鮮明さを考慮すると、最終的に画像時系列として使用できたのは11月30日～12月1日と12月22日～23日の2回だけであった。

表4 観測諸元

月 日	11/30～12/1	12/22～23
水面からのカメラの高さ	11.29 m	10.53 m
俯 角	30°	30°
走査角	水平	6.0°
	垂直	5.7°

観測データは解析ソフトで処理し、カラービデオコピープロセッサで画像を印刷し、その画像から諸水温データを得た。11月30日21時の観測画像を例として図3に示す。

図4は永瀬ダム湖堤体付近の気温と画像より求めた表面水温である。図5は温度波長 (cm) と温度波高 (°C) の関係で次の回帰式が得られる。

$$TH = 0.00867 * TL + 0.507 \quad \text{⑫}$$

ここに、TH：温度波高 (°C)

TL：温度波長 (cm)

図6は平均水温と気温の差と温度波長との関係を示したもので、データの得られる画像の時間帯が限られていたためかも知れないが、両者の間には関係はなさそうである。

図7は平均水温と気温の差と温度波高との関係を示したもので、温度差が大きくなると温度波高が小さくなる傾向があるようであるが、断定は大胆すぎるであろう。

図8は10月下旬に堤体上流約100m付近で水温計で測定した10水深における水温変動記録である。午後8時頃と午前5時頃に対流と思われる明瞭な水温変化が見られる。

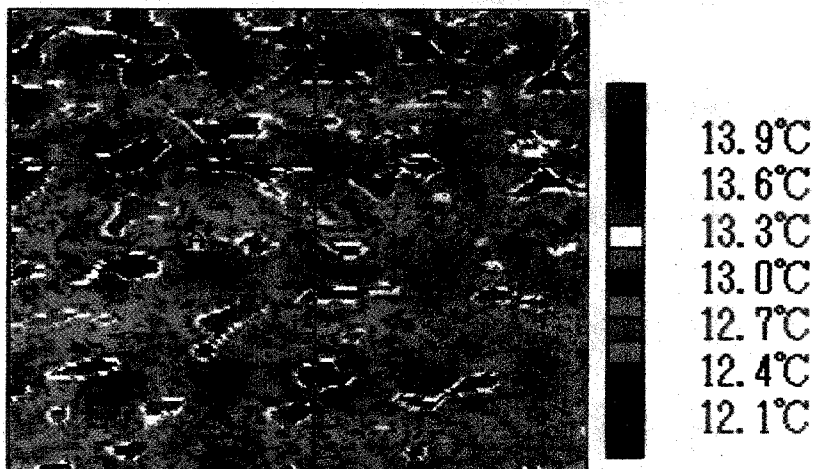


図3 永瀬ダム湖表面温度分布 (1992.11.30,21時)

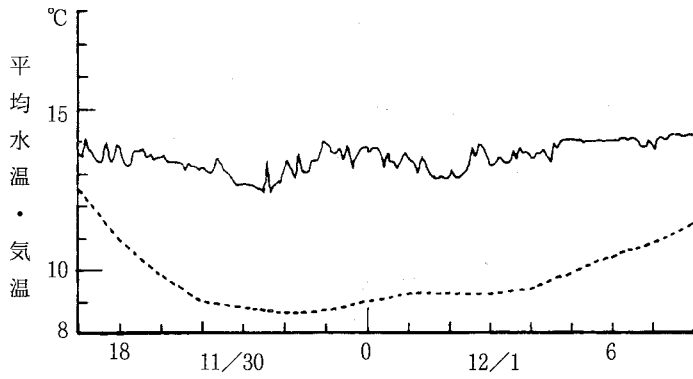


図4 永瀬ダム湖の気温と平均水温の変化

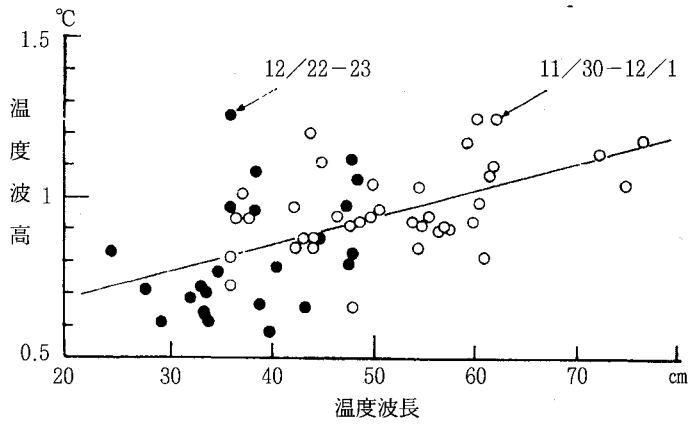


図5 温度波長と温度波高との関係

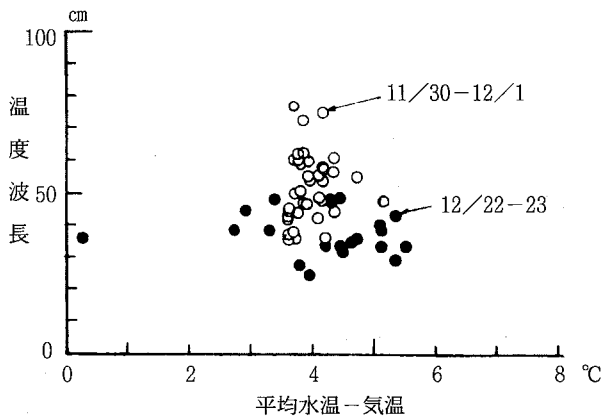


図6 平均水温と気温との差と温度波長との関係

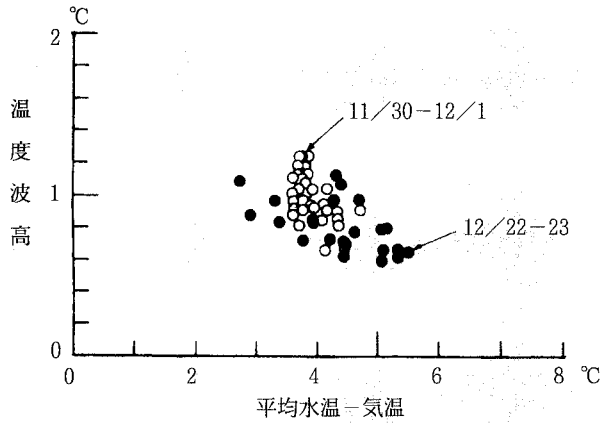


図7 平均水温と気温との差と温度波高との関係

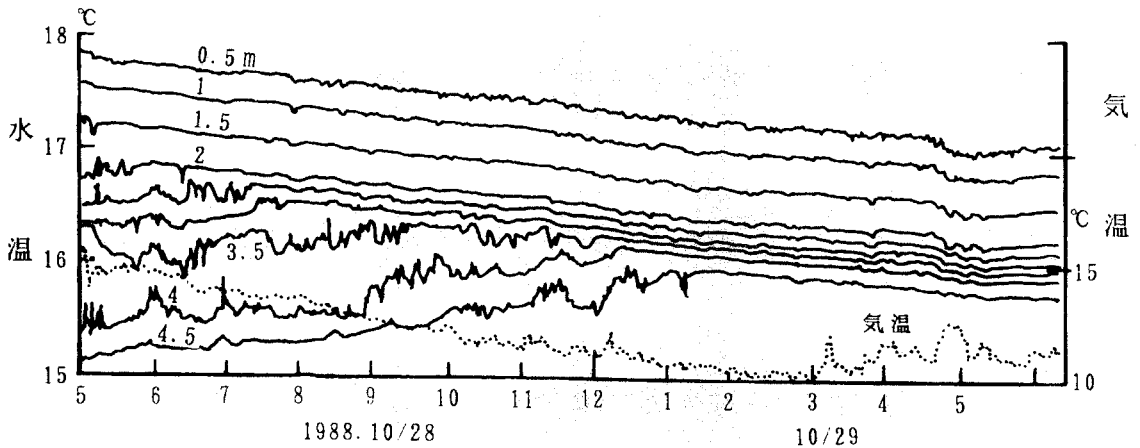


図8 永瀬ダム湖水温変動

(2) 実験水槽に生じる対流セル

実際のダム湖では風・雨・月明など自然の障害が多く、それらの影響のために良質のデータを
得ることが困難である。円形水槽にシリコンオイルなどを浅く張り、下方から一様に熱すると円形
あるいは六角形のセル群が生じることは周知のことであり、また水を使った実験では浅枝らにより
正方形断面水槽を用いた熱対流実験が報告されているが、熱映像を用いた実験はまだ見当たらない。

本実験では、φ450mm (max.80°C) のシリコンラバーヒーターの上にφ480mm, H700mmの
透明アクリル樹脂製の水槽を乗せ、あるいは水槽の上にヒーターを乗せて加熱した。なお、側壁から
の放熱を防ぐため水槽を発砲スチロールで巻いた。

水深は、1.2, 3.0, 4.9, 10.0cmの4種類について実験した。また、風(吹送流)の影響を調べる
ためファンを使用した。

図9に水深1.2cm, 加熱後5分, 図10に水深4.9cm, 加熱後5分の水面の熱映像を示す。水深が増
加するにつれて対流セルが大きくなっていくことがわかる。

図11は、水槽をほぼ満水とした上にヒーターを載せ24時間加熱した後ヒーターを取り除いて水面

から冷却されるために生じると予想される Benard cell を観察しようとしたが、図に見られるようにうまく発生しなかった。

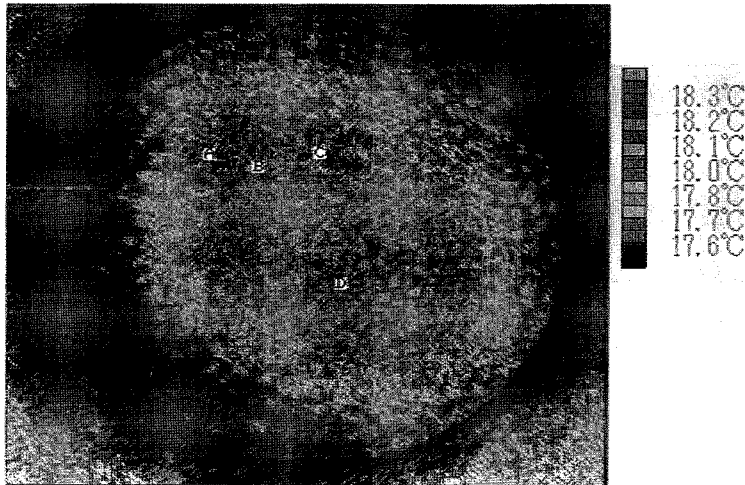


図9 水槽 (φ480,H112) 水面温度分布 (5分間加熱)

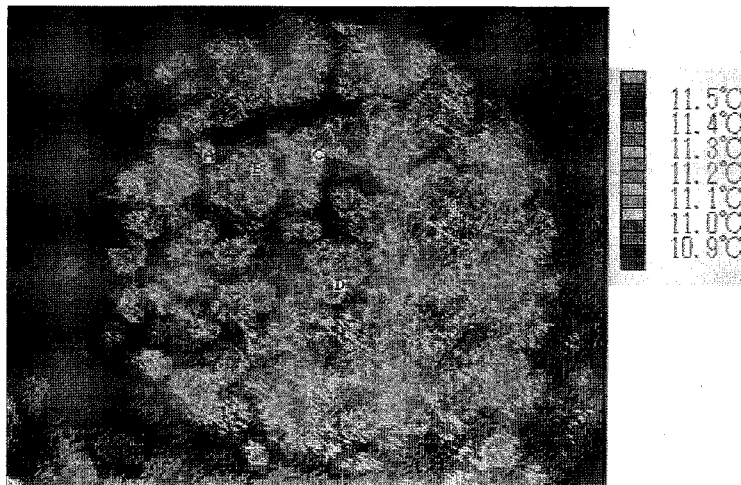


図10 水槽 (φ480,H149) 水面温度分布 (5分間加熱)

図12は図11に送風条件を加えた場合である。吹送流のために水槽全体にわたって対流が生じていることが推測され、また Benard cell も発生しているようである。

以上の実験結果をまとめると、水深と温度波長及び水深と温度波高との関係は図13のようになる。永瀬ダム湖と水槽実験のデータを総合して温度波長 T_L と温度波高 T_H との関係をグラフに示すと図14のようになり、次式の関係が得られる。

$$T_H = 0.0154 * T_L + 0.165 \quad \text{.....} \quad \text{⑬}$$

⑫, ⑬式のような関数関係は、当然ながら平均的な関係であり、熱映像画面上のどこに測線を取

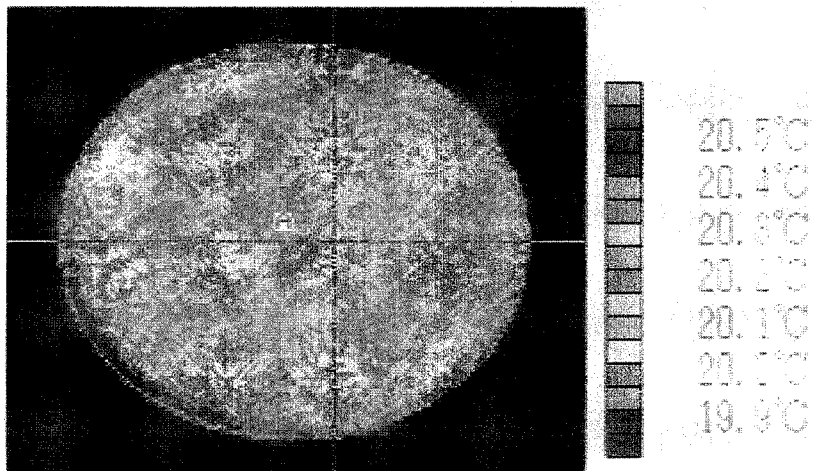


図11 水槽 (φ480,H700) 水面温度分布 (水面から冷却)

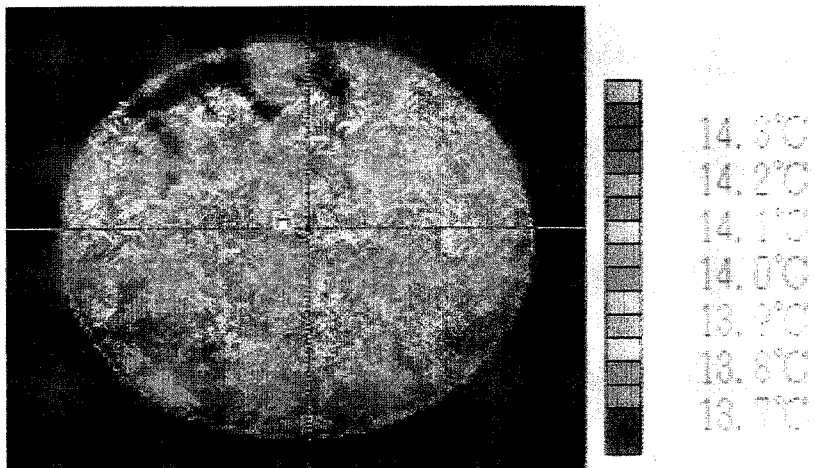


図12 水槽 (φ480,H700) 水面温度分布 (図11に送風を加える)

るかによってかなりのばらつきがあることを承知していなければならない。

これらの実験・観測結果を周辺部の熱的气象条件の緩和に結び付けることはこれからの研究課題である。

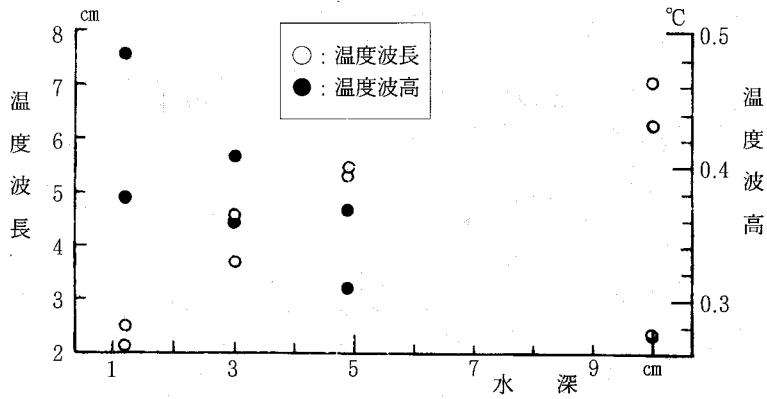


図13 水槽実験の水面温度波長および温度波高と水深との関係

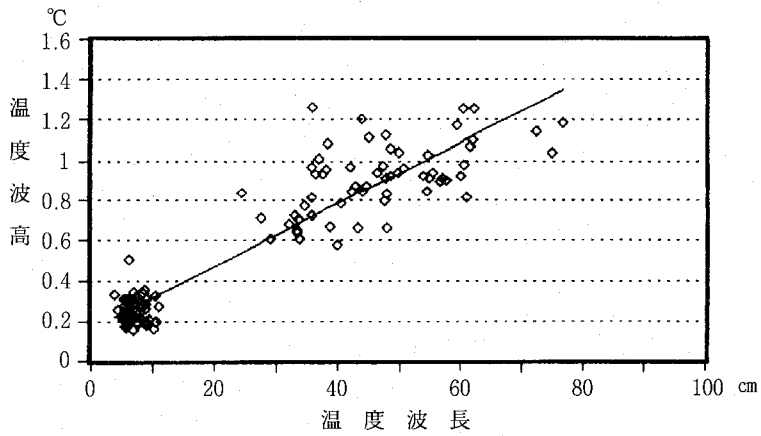


図14 ダム湖と水槽実験による水面の温度波高と温度波長との関係

〔引用文献〕

- 1) 岡本雅典・鈴木義一郎・杉山高一：基本統計学, p. 121-136, 実教出版 (1991)
- 2) 神田学・稲垣聡・日野幹雄：水工学論文集, No.35, p. 585-590 (1991)

平成5年(1993)9月25日受理
平成5年(1993)12月27日発行

