河川水温と気温等の相関に関する研究

—信濃川水系魚野川を例に—

生田理弘*・大熊 孝**・大川秀雄***・神立秀明****・中村一郎*****

A Study on the Correlation Between Water Temperature in Rivers and Atmospheric Temperature

—A Case on the Uono River in the Shinano River System—

Masahiro IKUTA, Takashi OKUMA, Hideo OHKAWA, Hideaki KOUDATE
and Ichirou NAKAMURA

As in the past, water temperature in rivers that showed difference between water and atmospheric temperatures is used in the snow-melting ditches for snow management. Recently, for the purpose of providing air and hot-conditioning system and hot water supply system, the use of water temperature in rivers has been given much attention. To utilize water temperature, understanding its fluctuation is necessary. As such, water temperatures at six points in the Uono River are measured by recorders, their fluctuations are investigated, and water and atmospheric temperature relationships are studied.

The water temperature fluctuation repeats every one year period and every one day period. However, both periodic phases in water temperature fluctuation start a little later than that of the atmospheric temperature. Likewise, both amplitudes are less than that of the latter. Regression analyses between the daily mean water and atmospheric temperature fluctuations are examined. Principally, atmospheric temperature influences water temperature. Thus, for the daily mean water and atmospheric temperatures, a high correlation is obtained. However, residuals due to snowfall, melting snow and yearly phase differences between water and atmospheric temperatures are observed. As such, multiple regression analyses are conducted where three predictor variables are used, namely, the daily mean atmospheric temperature, the moving mean atmospheric temperature and the depth of snowfall during the preceding day. Results showed a higher correlation than that obtained from simple regression analyses. Hence, it is possible to predict the daily mean water temperature by using these multiple regression equations.

Key words : snow-melting ditch, water temperature, atmospheric temperature, regression analysis, prediction

大気と温度差のある河川水温は、豪雪地帯では従来から消融雪溝として雪処理に利用され、最近、豪雪地帯以外でも冷暖房・給湯等にその利用が注目されるようになってきた。河川水温を利用するためには、その水温変化を把握する必要がある。そこで、魚野川筋を中心に自記水温計を用いて河川水温の測定を行い、水温の変化を調査し、主に気温との関連性について考察を行った。

河川水温の変化は年周期、日周期の変化が顕著にみられ、その年・日変化を気温と比べると共に若干位相の遅れを示し、年・日較差とも小さい。河川水温は主に気温の影響を受けているため、日平均水温と日平均気温の相関は高い。しかし、降雪、融雪および水温と気温の年周期の位相差の影響による残差がみられる。そこで、日平均気温、移動平均気温、前日降雪深を用いて3重回帰分析を行い、より高い相関係数を示す重回帰式が得られた。その重回帰式により、日平均水温の予測が可能である。

キーワード：消融雪溝、水温、気温、回帰分析、予測

*新潟大学大学院生	Graduate Student, Graduate School of Engineering, Niigata University
**新潟大学工学部教授	Professor, Faculty of Engineering, Niigata University
***新潟大学工学部助教授	Assistant Professor, Faculty of Engineering, Niigata University
****新潟大学工学部技官	Research Technician, Faculty of Engineering, Niigata University
*****大成建設株式会社	Taisei Corporation, Ltd.

I. はじめに

雪処理の有効な方法の一つに消融雪溝がある。消融雪溝は河川水のもつ熱量を利用し、除雪された雪を解かすものである(大熊他, 1989)。したがって、利用する河川水の水温変化を把握しておく必要がある。

従来の河川水温の研究は、稲作と水温の関係についての農学的研究を中心に発展した。とくに、河川上流域の水利施設による春夏期の河川水温の低下問題について、水利施設から取水地点までの区間における数多くの調査・実験および理論的研究が行われ、多くの成果が得られた。しかし、従来の水温観測では、使いやすい自記水温計がなかったため、連続した毎時水温観測を長期にわたり行った結果は少ない。さらに、冬期の河川水温についてはほとんど関心が払われてこなかった。

最近では「省エネ」、「環境保全」および「負荷平準化」のために未利用エネルギーの活用が課題になり、大気と温度差のある河川水をヒートポンプの使用によって冷暖房・給湯に利用することが、注目を浴びている。したがって、冬期のみならず、一年を通しての河川水温の変化を把握することも重要である。

そこで、我々は信濃川右支川魚野川を中心にICメモリ一内蔵の自記水温計(感温部は白金抵抗測温体でできており、温度精度は $\pm 0.05^\circ\text{C}$)を設置し、1年以上にわたって河川水温を30分毎に測定した。本研究の最終目標は冬期における河川水の水温変化を知り、特に豪雪年の水温を予測し、消融雪溝でどれくらいの雪処理が可能なのか把握することにあるが、本論文では、その雪処理の基礎となる水温の予測が可能かどうかについて考察した結果を報告するものである。

II. 従来の研究

日本における河川水温に関する研究は、夏期の河川水の大部分が水田用水として利用されるため、稲の生育と水温の関係を中心に発展してきた。その河川水温は、流域内の水文環境が変化すれば、当然、それとともに変化を生ずる。水文環境の変化には気候変化から土地利用の変化まで様々あるが、従来、水温変化に大きな影響を与えたものは水力発電にともなう大規模な水利施設の築造であった。すなわち、貯水池等の深層から冷水温が取水されると、その水温は隧道・管路内で保存され、その水温のまま放水されるため、下流域の水田に冷水災害がもたらされたのである。とくに、融雪水を貯留する東北日本の貯水池では、下流域で冷水害を発生させる危険が大きく、その対策が必要であった。

水利施設による河川水温の低下問題に関心がもたれるまでは、河川水温と気象要素との相関関係を求めること

に研究の重点がおかれていた。だが、低水温問題が発生してからは、主に水面熱収支から河川水温の成立機構、とくに区間上昇度を求めることに関する理論的研究が発展した。

水温の成立機構を水面熱収支から求める方法とは以下のようなものである。まず、水温が θ 、水深が D 、流速が v の任意の単位体積の水柱を特定地点で考えると、その水柱の熱収支は

$$R_N = c\rho D\left(\frac{\partial\theta}{\partial t} + v\frac{\partial\theta}{\partial x}\right) + H + LE + B_0 \quad (1)$$

で表すことができる(新井正他, 1974)。ここで、 c 、 ρ は水の比熱と密度、 R_N は水面の正味放射量、 H と LE はそれぞれ水面における顕熱と潜熱の伝達量、 B_0 は地中交換熱量である(B_0 を無視して解を求めることが多い)。つぎに、熱収支観測によって式(1)の熱収支の各項を求めるのであるが、 H と LE をどのようにして求めるかによって二つの方法がある。その第一の方法は、式(2)の右辺の各項を観測から求めて($H+LE$)を算出

$$H + LE = R_N - c\rho D\left(\frac{\partial\theta}{\partial t} + v\frac{\partial\theta}{\partial x}\right) \quad (2)$$

し、この和を観測によって得られた接水気層内の気温と蒸気圧を用いて、ボウエン比で H と LE に分離するボウエン比法である。第二の方法は、 R_N 、 H 、 LE を観測から求める直接観測法である。

群馬県の谷川において上記の二つの方法で同一地点を観測した結果があるが、二つの方法で H と LE の値のオーダーが違っており、熱収支観測の困難さが示されている(星合誠, 1959)。また、上記の理論は合流ないし分水のない区間においての水温上昇を主対象にしており、流域全体には適用し難いところもある(森田浩, 1967)。

そこで、河川水温が流域全体の熱的・水文的環境と関わりをもつという考えに立脚し、水温の解析に流量、地形要素を導入した研究が行われている。しかし、実際にある地点の河川水温や流量を知りたい場合、意外に観測資料がなかったりすることから、こうした研究も十分成果を挙げていない状況にある。

河川水温と気温の関係について、従来の研究成果を森田(森田浩, 1967)を参照してまとめてみると次のようになる。ただし、河川水温の変化にも気温等と同様に1年周期、1日周期の変化が顕著であるので、年変化、日変化に分けてまとめた。

〈年変化〉

- ①河川水温は、1月に最低温、8月に最高温を示す。
- ②水温の最高値の出現時期は気温の最高値の出現時期より若干の遅れを示す。
- ③河川水温の年較差は、気温の年較差より小さい。
- ④全国20河川の水温と気温の年変化の状況により河川水

温の類型を上, 中, 下流型に分類し, 月平均水温 t_w と月平均気温 t_a の関係を次のように示した.

上流型: $t_w = 1.95 + 0.78 t_a$

中流型: $t_w = 3.01 + 0.82 t_a$

下流型: $t_w = 3.30 + 0.92 t_a$

⑤水温の年較差, 年極値の出現時期は気温のみならず流量にも関係する.

⑥水温と気温の相関は流量の少ないときに高相関となり, 流量の多いときに低相関となる.

〈日変化〉

①水温較差より小さい.

②上流ほど最高水温が高くなり, 最低水温は低くなる.

③最高最低水温の出現時刻はともに上流で早く, 下流で遅い.

④水温と気温の位相のずれは, 位相がほぼ同じ河川もあるが, 水温の位相が気温より遅れ, その遅れの程度は上流から下流へと大きくなる.

III. 水温測定地点

我々は, 研究対象河川として信濃川水系魚野川を選んだが, その理由は, 一つに魚野川流域が豪雪地帯にあり, 雪処理対策として消融雪溝の利用を考えているからであり, もう一つは魚野川流域に大規模な水利施設が少なく, 河川水の水温年成過程に人為的な影響が比較的少ないからである. その水温測定地点は図一1の6地点で, 30分間隔で連続して1年以上にわたって行った. 各測点の標高, 流域面積等は下記のごとくであり, 以後, 各測点は記号で表すことにする.

G: 湧水地点: 1988年12月~1990年8月まで.

魚野川の伏流水と思われる湧水.

標高210m.

O: 小黒川上流地点: 1988年12月~1990年8月まで.

魚野川左支川小黒川上流部.

標高350m. 流域面積4 km².

U₁: 魚野川上流地点: 1989年12月~1990年8月まで.

魚野川上流部. 湯沢町の上水道水源地点.

標高450m. 流域面積81km².

U₂: 神弁橋地点: 1989年12月~1990年8月まで.

(途中1990年3月~1990年6月まで欠測)

魚野川上流部. 湯沢町の神弁橋橋脚下.

標高340m. 流域面積146km².

U₃: 前島橋地点: 1988年12月~1990年8月まで.

魚野川. 塩沢町の前島橋付近.

標高180m. 流域面積207km².

U₄: 小出橋地点: 1989年7月~1990年8月まで.

魚野川. 小出町の小出橋下.

標高80m. 流域面積845km².

図一1 水温測定地点

各地点とも自記水温計は流心部に設置したが, 河川の横断面上のどこに水温計を設置すべきかは重要な問題である. 従来の研究によれば, 水深が数mと大きくなれば約1°Cの水温差がみられ, 1m程度ではほとんど水温差がないと報告されている(西沢利栄, 1962). 魚野川の場合は, 水深の深い淵が少なく, 瀬と浅い淵の繰り返しによって流水が十分攪拌されており, 同一横断面内の水温はほぼ等しいと考えた.

なお, 各水温測点の流量観測を行っていないので, 建設省の測水地点である堀之内地点の観測資料から流域面積の比率でおおよそ推定するしかない. 堀之内の流域面積は1,407km²であり, 37年間の平均でみると豊水流量は179m³/s, 平水流量は113m³/s, 低水流量は77m³/s, 渇水流量は50m³/s, 年平均流量は159m³/sである(建設省河川局, 1990). また, 各水温測点毎の気象観測は困難であったので, 気象庁のアメダスを利用し, U₄には小出アメダスを, その他の測点には湯沢アメダスを用いて, 考察を行った.

IV. 結果と考察

河川水温は, 湧出する地下水, 表面流水, 河床を通じた熱交換, さらに年変化と日変化をとまなう気温等の気象要素によって影響を受ける. なかでも, 河川水温にも年変化と日変化をとまなう変化がみられることから, 気温が水温の形成に大きく影響を与えていると考えた. そこで, 河川水温, 湧水水温, 気温等の気象要素の年変化と日変化を知り, 主として河川水温と気温の相関を求め, その回帰式によって水温予測が可能かどうかについて

表一 各地点の水温および気温の年最高・最低値，その出現時期，年平均値，年較差（期間：1989年8月1日～1990年7月31日）

地点	年最高値	出現時期	年最低値	出現時期	年平均値	年較差
O：小黒川上流	18.72℃	7/21 13時	0.01℃	1/26 2時	9.59℃	18.71℃
U ₃ ：前島橋	23.70℃	7/21 15時	0.00℃	1/25 6時	10.89℃	23.70℃
U ₄ ：小出橋	23.61℃	8/ 5 16時	1.21℃	1/26 6時	11.68℃	22.40℃
G：湧水	13.58℃	9/20 5時	10.43℃	3/ 8 22時	11.82℃	3.15℃
湯沢気温	33.3℃	8/ 3 14時	-9.6℃	1/21 5時	12.1℃	42.9℃
小出気温	34.6℃	8/13 14時	-11.0℃	2/ 9 1時	12.5℃	45.6℃

表二 各地点の日平均値の年変化近似曲線における最高値最低値および出現時期（期間：1989年8月1日～1990年7月31日）

地点	最高値	出現時期	気温との差	最低値	出現時期	気温との差
O：小黒川上流	15.07℃	8/ 9	8日	4.70℃	1/28	10日
U ₃ ：前島橋	18.96℃	8/ 5	4日	4.03℃	1/31	13日
U ₄ ：小出橋	19.03℃	8/ 6	6日	5.01℃	2/ 1	14日
G：湧水	13.33℃	9/23	53日	10.50℃	3/19	60日
湯沢気温	24.44℃	8/ 1	—	0.06℃	1/18	—
小出気温	25.14℃	7/31	—	-0.10℃	1/18	—

て、考察する。

1. 年変化

1年以上測定結果があるG、O、U₃、U₄の測定結果を用いて、1989年8月～1990年7月までの水温と気温の日平均（毎時平均）の年変化をフーリエ分析し、1年周期および半年周期の位相を知り、水温と気温の比較、および各測点間の比較を行った。その後、水温と気温等の気象要素の相関を求めた。

測定結果は以下のようにまとめられる。

①水温と気温の年最高・最低，その出現時期，年平均，および年較差を表一に示した。

河川水温は，7月下旬から8月上旬に最高，1月下旬に最低を示した。また，湧水水温は，9月下旬に最高，3月上旬から中旬に最低を示し，気温は，8月上旬に最高，1月下旬から2月上旬に最低を示した。

②水温の気温の年較差は，河川水温が20℃前後，湧水が約3℃，気温が40℃以上であった。

③水温と気温の日平均値をフーリエ分析し，それらの1年周期成分および半年周期成分だけをを用いた年変化近似曲線の最高・最低および出現時期を表二に示した。

水温と気温の1年周期の位相差はOで10日，U₃、U₄で9日，Gで56日を示し，それぞれ気温より遅れている。

最高日平均水温の出現時期は，日高日平均気温の出現時期と比べ，O、U₃、U₄、Gでそれぞれ8日，4日，6日，53日の遅れを示した。一方，最低日平均水温はO、U₃、U₄、Gでそれぞれ10日，13日，14日，60日遅れている。

水温℃

図一 小出橋地点（U₄）の日平均水温と日平均気温の散布図

福井，西沢は全国の24地点について河川水温の年変化をフーリエ分析した結果，1年周期の位相は地点によってそれほど差がみられないが，半年周期の位相は積雪地方の河川のほうが積雪のない地方の河川より約59日遅れる傾向があることを示している（福井英一郎他，1970）。O、U₃、U₄の1年周期の位相は福井，西沢の結果とほとんど差がないが，半年周期の位相については積雪のない地方の位相とそれほど差がみられなかった。これは，1年間の測定結果から計算したものであり，その年の冬が少雪であったからかもしれないので，今後水温測定を継続して行い，検討する必要があるだろう。

④河川水温の年平均は上流から下流へ向かうにしたがって高温になっており，表には示していないが，月平均についても同様の結果が得られた。

気温等の気象要素と河川水温の関係について，まず，日平均水温と日平均気温の相関を求めた。各測点の相関係数は，O、U₃、U₄でそれぞれ0.967、0.969、0.971であり，U₄の散布図を図一に示したが，上下流とも同程度の高い相関を示す。予測値の標準誤差σは，O、U₃、U₄でそれぞれ0.96℃、1.34℃、1.21℃である。冬期の低い水温を利用する目的からすると，これらの残差は大きいのでより高い精度の回帰式を求める必要がある。

そこで，単回帰式による水温予測値と実測値の残差を減らすために，水温と気温の1年周期の位相差と冬期の大量降雪を考慮して重回帰分析を行った。

水温と気温の1年周期の位相差は約10日あるが，その位相差を相殺するために当日平均気温と気温の移動平均を用いて重回帰分析を行った。様々な日数の移動平均気温を用いた試行錯誤の結果，以下のような日数の場合，重相関係数が高くなった。

・Oは，30日移動平均気温。

・ U_3 は、34日移動平均気温、

・ U_4 は、46日移動平均気温、

ここで予測する日の移動平均気温は、O の場合、予測する日の前日から30日前までの平均気温とし、 U_3 、 U_4 の場合についても同様である。

水温が極端に低下するのは、大量の降雪があった日および翌日であるので、当日平均気温と降雪深を用いて重回帰分析を行った。その降雪深は、当日のものをを用いた場合と前日のものをを用いた場合で比較した結果、重相関係数が高くなった前日降雪深を用いることにした。

水温と気温の1年周期の位相差と冬期の大量降雪の影響を同時に考慮して、重回帰分析を行い、以下に示すような重回帰式が得られた。

$$\bullet O: y = 4.46 + 0.20t_1 + 0.22m_1 - 0.034s_1 \quad (3)$$

$$\bullet U_3: y = 3.41 + 0.35t_1 + 0.27m_2 - 0.037s_1 \quad (4)$$

$$\bullet U_4: y = 4.59 + 0.35t_2 + 0.22m_3 - 0.038s_2 \quad (5)$$

ここに、 y : 水温予測値、

t_1 : 湯沢当日気温、 t_2 : 小出当日気温

m_1 : 湯沢気温30日移動平均

m_2 : 湯沢気温34日移動平均

m_3 : 小出気温46日移動平均

s_1 : 湯沢前日降雪深、 s_2 : 小出前日降雪深

重相関係数は、O、 U_3 、 U_4 でそれぞれ0.990、0.986、0.988 になり、予測値の標準誤差 σ は、それぞれ0.54°C、0.89°C、0.81°C になり、当日気温だけを用いた予測よりもかなり改善された。

そこで、1989年8月1日から1990年7月31日までの測定結果により求められた式(3)、(4)を用いて、前年の1988年12月3日から1989年7月31日までのO、 U_3 における水温を予測した。その結果、予測値の標準誤差 σ はO、 U_3 でそれぞれ0.53°C、0.92°Cであった。 U_3 の場合の予測結果を図-3に示す。なお、1989年は極端な少雪年(長岡最高積雪深30cm)、1990年は少雪年(長岡最高積雪深80cm)であり、この予測式で1981、84年のような豪雪年に適用可能なかということについては今後の課題である。

水温と標高の関係については、西沢が関東地方(利根川水系)の河川水温の月下均値(毎日9時測定)に関して、等高線と平行的に分布していることを示しているが(安藝皎一他、1966)、魚野川本流の U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 についても図-4に示す通り、冬期、夏期ともに月平均水温と標高には高い相関関係がみられる。これは、魚野川本流の河川水が水面や河床での熱交換を十分にを行い、その水温が標高に対応する温度に達しているためと考えられる。しかし、Oの標高は U_1 より低いにも関わらず冬期についてはその標高に対応する水温より高くなっており、夏期についてはその逆に水温が低くなっている。Oの水温が魚野川本流の水温と標高の関係に対応しないのは、他の測点と比較してOの流域面積が4 km²と極端に小さく、地下より流出した河川水がOまで流下する時間が短いために、水面や河床での熱交換が十分行われていないからであろう。 U_1 では水温が標高に対応する温度に達し

図-4(1) 1990年1月の月平均水温と標高の散布図

図-4(2) 1990年7月の月平均水温と標高の散布図

図-3 前島橋地点 (U_3) における1988年12月3日から1989年7月31日までの日平均水温の予測値と実測値

ていることから、少なくとも流域面積が81km²以上なら水面や河床での熱交換は十分行われていると考えられる。しかしながら、河川水が水面や河床での熱交換を十分行うために最低必要とする流下時間、あるいは流域面積について、今回の測点の配置からは明らかにできなかった。ただ、Oの場合でも(3)式によりかなりの精度で水温予測ができることから、流下時間が予測水温の残差に与える影響は小さいと言えよう。

2. 日変化

水温と気温の毎日測定結果を用いて、水温と気温の相関を求め、また、測点間の比較を行い、考察を行う。参考までにU₄の夏・秋・冬の3日間の日変化の様子を図-5に示した。

測定結果は以下のようにまとめられる。

①各測点とも水温の日較差は日較差より小さく、冬期を除いて、下流ほど日最高水温が高く、日最低水温が効くなる傾向がみられる。

②日最高・最低水温の月毎における最多出現時刻を表-3に示した。日最高・最低水温の出現時刻はともに上流

表-3 日最高・最低水温の月毎における最多出現時刻
(最高値出現時刻, 最低値出現時刻), *は最多出現時刻が複数ある

地点	O:小黒川上流	U ₁ :魚野川上流	U ₃ :前島橋	U ₄ :小出橋
'89 8	12時, 6時	——	14時*, 6時	16時, 7時
9	12時, 5時	——	15時, 6時	16時, 7時
10	12時, 5時*	——	15時, 7時	16時, 7時
11	13時, 6時	——	15時, 7時	16時, 7時
12	13時, 7時*	13時, 0時*	15時, 8時	16時, 8時
'90 1	13時, 6時	14時, 3時*	15時, 0時*	16時, 23時
2	12時, 0時*	14時, 7時	15時, 7時	16時, 8時
3	13時, 6時	14時, 23時	15時, 7時	16時, 7時
4	12時, 5時*	14時*, 5時*	15時, 6時	17時, 7時
5	13時, 5時	15時, 5時	16時, 6時	17時, 6時
6	13時, 5時	14時, 5時	15時, 6時	17時, 6時*
7	13時, 5時	13時, 5時	15時, 6時	16時, 7時

表-4 毎時水温と毎時気温の相関係数(ここで、上昇・下降時間帯とは、各地点について日極値出現時刻を調べ、その最多出現時刻で2つの時間帯に分けたもの)

	O:小黒川上流地点			U ₁ :魚野川上流地点			U ₃ :前島橋地点			U ₄ :小出橋地点		
	全時間帯	上昇時間帯	下降時間帯	全時間帯	上昇時間帯	下降時間帯	全時間帯	上昇時間帯	下降時間帯	全時間帯	上昇時間帯	下降時間帯
'89 8	0.822	0.757	0.847	——	——	——	0.744	0.816	0.770	0.664	0.752	0.770
9	0.865	0.870	0.871	——	——	——	0.822	0.840	0.843	0.777	0.779	0.867
10	0.764	0.707	0.803	——	——	——	0.843	0.786	0.891	0.810	0.808	0.967
11	0.895	0.854	0.915	——	——	——	0.890	0.846	0.935	0.865	0.901	0.907
12	0.696	0.724	0.680	——	——	——	0.757	0.792	0.772	0.603	0.764	0.521
'90 1	0.563	0.605	0.551	0.829	0.833	0.827	0.781	0.788	0.774	0.605	0.745	0.552
2	0.274	0.316	0.234	0.671	0.613	0.680	0.653	0.640	0.636	0.389	0.635	0.159
3	0.793	0.813	0.781	0.680	0.685	0.669	0.837	0.840	0.855	0.721	0.837	0.721
4	0.828	0.845	0.830	0.859	0.872	0.846	0.837	0.838	0.849	0.781	0.822	0.852
5	0.895	0.903	0.899	0.839	0.853	0.820	0.811	0.841	0.802	0.773	0.832	0.824
6	0.886	0.886	0.889	0.767	0.762	0.764	0.757	0.769	0.782	0.752	0.796	0.863
7	0.926	0.925	0.925	0.827	0.855	0.823	0.829	0.882	0.850	0.767	0.846	0.881

図-5 小出橋地点(U₄)の水温と気温の日変化の様子

に早く、下流に遅くなっている。

③水温の日較差の月平均は、夏期に大きく約4℃、冬期に小さく約2℃を示す。一方、気温の日較差の月平均は、春夏期に大きく約10~11℃、冬期に約5~6℃を示す。

④水温と気温の日周期の位相差は、水温が気温より遅れ、下流に向かうほど遅れが大きい。また、水温の日周期について測点間で比較すると、下流に向かうほど位相が遅れる。

気温等の気象要素が河川水温に与える影響について、まず、U₁, U₃, U₄およびOについて毎時水温と毎時気温との相関を月毎に求め、相関係数を表-4に示した。その結果、①U₁, U₃, U₄を比較すると、下流ほど相関が低くなっており、②冬期の相関は4地点とも低くなっている。①は毎時水温と毎時気温の日周期の位相差が下流ほど大きいことの影響による。そこで、月毎の日最高・最低水温の最多出現時刻で、測定結果を2つのグループ(水温の上昇時間帯と下降時間帯)に分けて相関を求めた場合、U₄については、グループ分けしない場合と比べて高くなった(表-4参照)。一方、②は明らかに降雪の影響によるものであり、降雪量により水温低下がどれ位なのか予測は可能である(中村一郎, 1989)。しかし、今回は毎時降雪深が入手できず、毎時水温の降雪による低下、降雪後の上昇について検討することはできなかった。冬期の毎時水温予測は今後の課題としたい。

下流ほど水温と気温の日周期の位相差が大きくなるこ

とについてであるが、下流ほど流量が大きくなり、単時間当りの熱交換量は上流と比較して小さくなる。また、下流ほど水深も大きくなり、流水中に単位体積の直方体を、水深を高さにとって考えた場合、その直方体の河川表面の面積、すなわち大気との接触面は上流と比較して小さくなる。そのため、下流の水温は気温の変化に対して上流ほど鋭敏に応答できなくなり、位相差が大きくなるものと考えられる。

V. 結 論

魚野川筋の河川水温の測定結果から、日平均水温と日平均気温の相関は高いことがわかったが、当日気温だけで水温を予測すると水温と気温の1年周期の位相差が冬期の大量降雪等の影響により、回帰式による予測値と実測値の残差が大きくなる。それらの影響を考慮して、当日平均気温、移動平均気温、前日降雪深を用いて重回帰分析を行った結果、より高い相関の重回帰式が得られ、水温の予測値と実測値の残差も小さくなった。

また、毎時水温と毎時気温の相関も高いことがわかったが、下流ほど、低相関になる傾向がみられた。これは下流ほど水温と気温の日周期の位相差が大きくなるためである。その位相差の影響を考慮し、日最高・最低水温の出現時刻を知り、測定結果を水温の上昇・下降時間帯に分けた結果、水温と気温の日周期の位相差が大きい地点の場合は、より高い相関の回帰式が得られた。しかしながら、冬期の降雪時についての毎時予測は今後の課題である。

以上、1年余り魚野川の水温を測定した結果、水温と気温の位相差を知り、さらに降雪量がわかるならば、日平均水温と日変化を予測することは可能であり、消融雪溝の利用に関するシミュレーションが可能であることが

明らかになった。

なお、本研究は、科研費一般研究(B)の「地表水利用の雪処理技術の開発研究と除雪システムの運用に関する研究」(代表 大熊孝)の一環であることを付記しておく。

引用文献

- 1) 安藝皎一・多田文男監修(1966): 水資源ハンドブック, pp.71~92, 朝倉書店
- 2) 新井正・西沢利栄(1974): 水温論, pp.1~143, 共立出版
- 3) 福井英一郎・西沢利栄(1970): 流域における熱収支・水収支と河川水温, 日本における火山体の水資源的価値に関する研究II, 文部省科学研究費報告, 代表山本壮毅, pp.17~22
- 4) 星合誠(1959): 河川流下中の水温上昇に対する物理学的考察, 水温の研究, 3(4), pp.5~24
- 5) 建設省河川局(1990): 流量年表(昭和63年), pp.416~417, 日本河川協会
- 6) 森田 浩(1967): 日本における河川水温研究の概観と問題点, 水温の研究, 14(4), pp.6~15
- 7) 中村一郎(1989): 冬期河川表流水の水温変化に関する研究, 新潟大学大学院工学研究科修士論文, pp.1~71
- 8) 西沢利栄(1962): 河川の水温一主として日本における研究の展望(3)一, 水温の研究, 6(4), pp.5~11
- 9) 大熊孝他(1989): 流雪溝と消融雪溝の標準的計画・設計法に関する基礎的考察, 雪氷, 51(4), pp.239~251

(1990年12月7日受付, 1991年1月17日受理)