

岩手県内における主要水源等の水温実態と水田水温の推定

日影勝幸・尾形茂・伊五澤正光*・神山芳典

はじめに

岩手県では記録的な大冷害となった平成5年において、減数分裂期の低温による被害軽減対策として、深水管理の指導がなされたが、十分な効果があらわれなかった事例も多く報告された。この要因の一つとして、用水温が低いために幼穂保護に有効なほ場水温が確保されなかったことが推定された。そこで、水管理をより効果的に行うための基礎データを得ることを目的に、農業用水の主要水源等（ダム・河川16地点）における水温実態を調査するとともに、メッシュ気象情報システムを活用した水田水温の推定を試みたので、その結果を報告する。

試験方法

1 岩手県における主要水源等の水温解析

(1) 主要水源の水温実態

県内の受益面積が比較的多い主要な10ダム（奥羽山系：御所ダム・山王海ダム・豊沢ダム・入畑ダム・湯田ダム・石淵ダム，北上山系：滝ダム・岩洞ダム・綱取ダム・田瀬ダム），3河川6地点（葛根田川（西山地区），猿ヶ石川，北上川（船田橋，紫波橋，金ヶ崎橋，狐禅寺））について水温調査した（表1，図1）。

表1 解析に用いた主要水源等の調査時刻および調査機関

| 調査地点名 | 市町村名 | 関連河川 | 調査時刻・内容 | 調査機関 | 用いた年次 |
|-------|------|------|-------------|--------------|---------|
| 【ダム等】 | | | | | |
| 滝ダム | 久慈市 | 長内川 | 9時（表面水温） | 岩手県土木部 | H2～9 |
| 岩洞ダム | 玉山村 | 丹藤川 | 9時（表面水温） | 岩手県企業局 | H2～11 |
| 綱取ダム | 盛岡市 | 中津川 | 10時（50cm水温） | 岩手県企業局 | H2～11 |
| 御所ダム | 雫石町 | 雫石川 | 9時（表面水温） | 北上川ダム統合管理事務所 | H2～8 |
| 山王海ダム | 紫波町 | 滝名川 | 9時（表面水温） | 山王海土地改良区 | H2～10 |
| 田瀬ダム | 東和町 | 猿ヶ石川 | 9時（表面水温） | 北上川ダム統合管理事務所 | H4～9 |
| 豊沢ダム | 花巻市 | 豊沢川 | 9時（30cm水温） | 岩手県農政部 | S58～H11 |
| 入畑ダム | 北上市 | 和賀川 | 9時（表面水温） | 岩手県土木部 | H2～6 |
| 石淵ダム | 胆沢町 | 胆沢川 | 9時（表面水温） | 北上川ダム統合管理事務所 | H2～11 |
| 湯田ダム | 北上市 | 和賀川 | 14時（表面水温） | 岩手県企業局 | H2～5 |
| 【河川等】 | | | | | |
| 西山 | 雫石町 | 葛根田川 | 8時（表面水温） | 雫石土地改良区 | H2～10 |
| 船田橋 | 玉山村 | 北上川 | 9時（表面水温） | 北上川ダム統合管理事務所 | H2～11 |
| 紫波橋 | 紫波町 | 北上川 | 9時（表面水温） | 建設省岩手工事事務所 | H2～11 |
| 金ヶ崎橋 | 金ヶ崎町 | 北上川 | 9時（表面水温） | 建設省岩手工事事務所 | H2～11 |
| 狐禅寺 | 一関市 | 北上川 | 9時（表面水温） | 建設省岩手工事事務所 | H2～11 |
| 遠野地区 | 遠野市 | 猿ヶ石川 | 毎時（表面水温） | 岩手県農業研究センター | H9～11 |

* 花巻農業改良普及センター

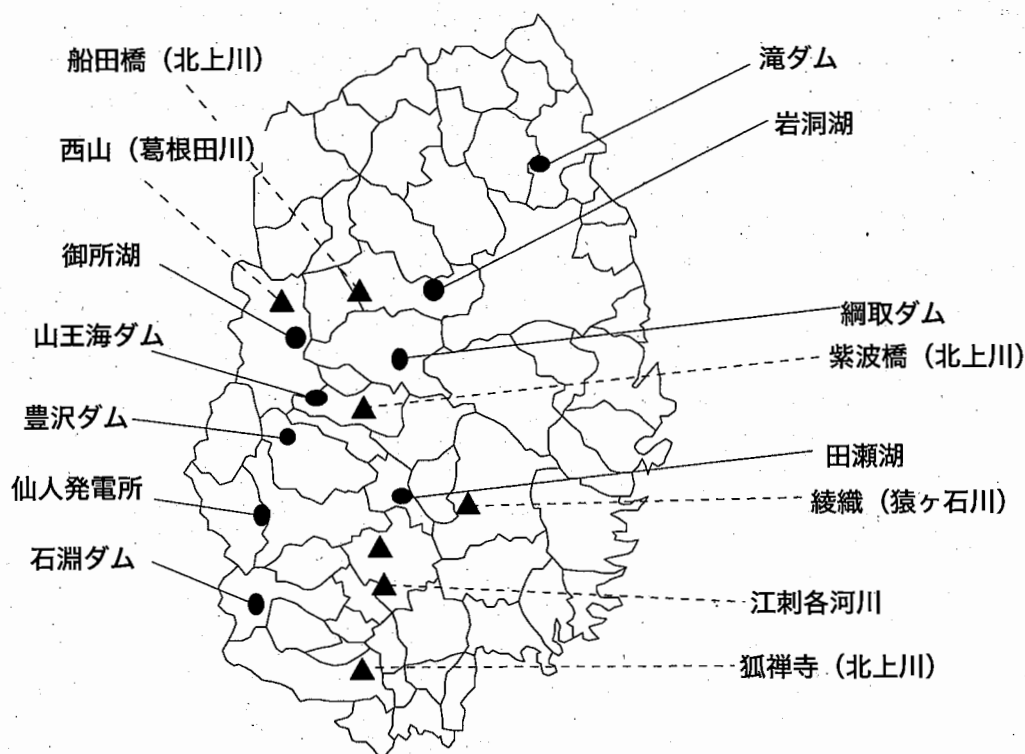


図1 主要水源等の水温実態調査地点 (●ダム等, ▲河川等)

(2) 用水の水温変化

水源からは場までの水温変化を把握するために、人首川（江刺）の水温変化および石淵ダム水系においてパイプラインの水温に及ぼす影響についても調査・解析した。

2 水田ほ場の水温推定

(1) アメダスデータを用いた水温の推定

岩手県全域を網羅するリアルタイムメッシュ気象情報のメッシュ日平均気温と付近アメダス地点の日照時間の2つのみの因子を利用した水田の日平均水温の推定を試みた。

推定に用いた基本式は、坪井ら¹⁾(1977)の浅い水面の止水条件での平衡水温推定式(式1)である。

$$T_w = T_a + (S - 2hd) / h(1 + 2a) \quad \dots(式1)$$

ここで、 T_w は止水条件のほ場平衡水温(°C)、 T_a は気温(°C)、 S は正味放射量($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$)、 h は顕熱伝達係数($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{°C}$ 、坪井によると約0.0002)、 d は飽差(mmHg 、 $e(T_a) - e_a$)、ただし、 $e(T_a)$ は T_a °Cでの飽和水蒸気圧、 e_a は空気中の水蒸気圧)、 a は温度微係数($\text{mmHg}/\text{°C}$ 、 $(e(T_w) - e(T_a)) / (T_w - T_a)$)である。

また、実測日射量及び通信・放送機構仙台リサーチセンター(以下SRC)の1キロメッシュ推定日射量データを用いての時間値水温の推定も併せて行った。

実測水温の測定にあたって1995年、1997年水沢地域は、コーナシステム社製KADEC-Uを、1997年遠野市は横河ウェザック(株)社製気象観測装置を使用し、日照時間と気温はアメダスデータとリアルタイムメッシュデータを用いた。

試験結果及び考察

1 主要水源等の水温実態

以前から、奥羽山系の水温は北上山系の水温より低いといわれていたが、これまでデータによる裏付けはなされていなかった。今回、県内の受益面積が比較的大きい主要な10ダム、3河川6地点について

水温調査データを解析した結果、以下の水温実態が明らかとなった。

- (1) 雫石西山水系や石淵ダム、湯田ダムなどの奥羽山系の水源は、岩洞ダムや田瀬ダムなどの北上山系の水源に比較し水温が低い傾向であり、特に5月は顕著であった。5月の水温差の要因として融雪の影響が大きいものと考えられる(表2)。
- (2) 調査した主要水源等の中で田瀬ダム水温が最も高く、最低水温でも5月平均で13.2℃と比較的高いことが確認された(表3)。
- (3) 水温の標準偏差を見ると綱取ダム、御所ダム、石淵ダムなどで大きい傾向があり、7～8月について見ると滝ダムも大きいことが確認され(表4)、やませ等の影響が考えられ、日々の水管理の重要性が指摘できる。
- (4) 平成5年の冷害年は、やませ地帯の滝ダム水温は6月頃から8月にかけて最低気温より低く推移しており、7月下旬では最低気温より5℃程度低い日も確認された(図2)。

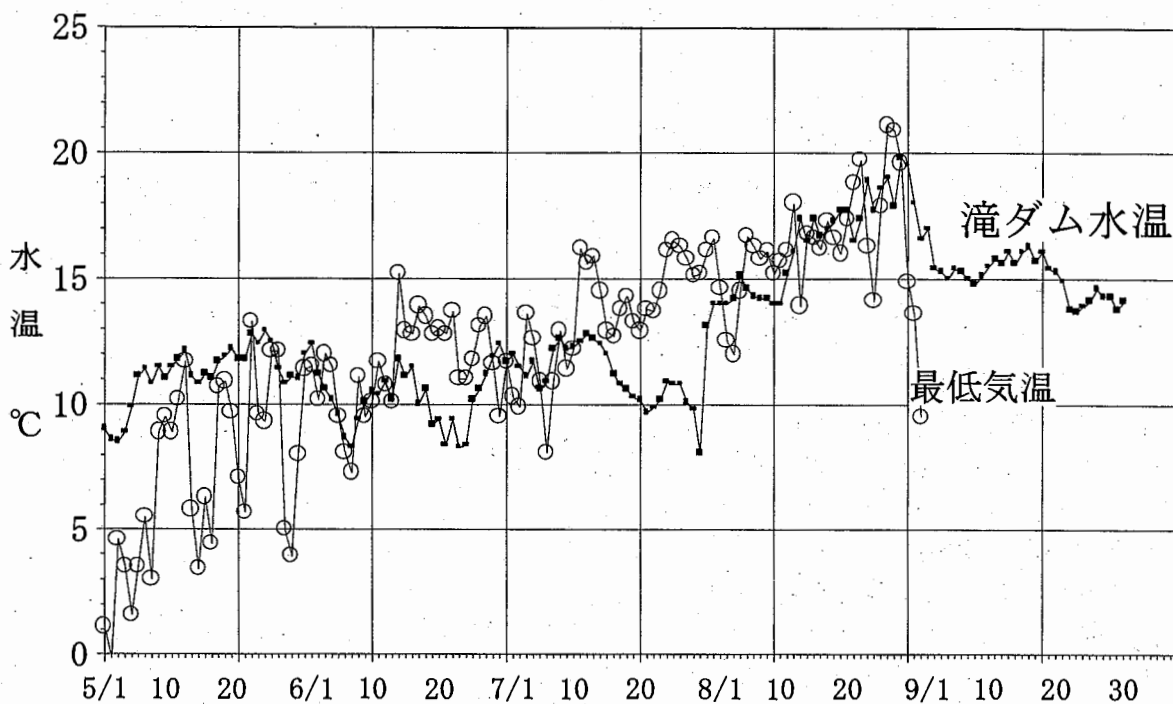


図2 滝ダム水温と最低気温(久慈)の関係(1993年)

- (5) 北上川水温は船田橋から狐禅寺にかけて、年次に関係なく5℃程度の上昇が確認された。
- (6) 岩洞ダムの場合は、取水後地下のパイプラインを通過するため出口付近(滝沢村)の水温はダム取水口水温より1997年8月平均で1.94℃、1998年8月で1.63℃低下していた。パイプラインの場合は、低下の程度は水の通過量および時間との関係があると考えられるが、夏期は取水時より低下すると考えられる。
- (7) 石淵ダムでは、取水から円筒分水工までパイプラインであるが、取水口の水温と分水工での水温の関係から、1998年調査で分水工水温=0.77×取水口の水温+3.54 ($r^2=0.94$)の関係が認められた。
- (8) 季節によりダムの水位が変化するため、測定位置と取水口位置が異なる場合がある。入畑ダムの鉛直水温分布調査(図3)によると、石淵ダムの水温は測定位置が表面であり、取水口が表面下約5～10m程の場所であることから、夏期の測定水温より取水口の水温は5℃程度低くなることがあると推定される。

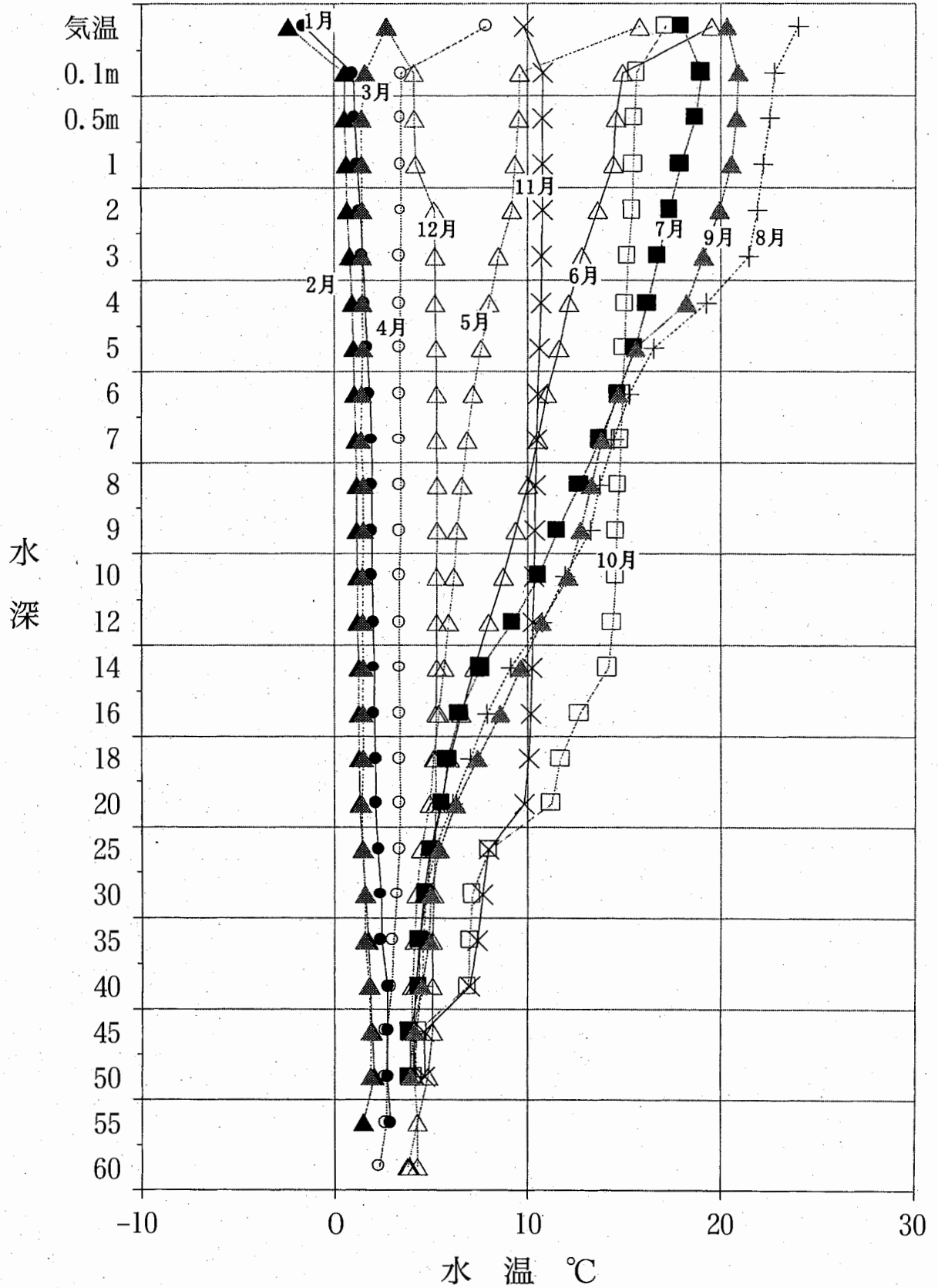


図3 入畑ダムの鉛直水温分布 (北上地方振興局土木部測定)

(1991, 1994, 1995, 1996, 1997年の平均値, 測定時刻は10時, 月1回の上旬頃測定)

表2 (続き) 主要水源等の水温データ (調査年次の平均水温)

| 月日 | 滝 | 岩洞 | 綱取 | 御所 | 山王海 | 田瀬 | 豊沢 | 入畑 | 石淵 | 湯田 | 西山 | 船田橋 | 紫波 | 金ヶ崎 | 狐禅寺 | 遠野 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 8/31 | 19.5 | 21.7 | 20.4 | 22.0 | 22.2 | 23.9 | 20.9 | 22.8 | 17.8 | 20.5 | 15.4 | 18.3 | 19.9 | 21.2 | 22.0 | 18.0 |
| 9/ 1 | 19.6 | 21.8 | 19.7 | 20.8 | 22.4 | 24.0 | 20.7 | 22.6 | 18.8 | 20.9 | 15.0 | 18.3 | 20.0 | 20.6 | 21.6 | 17.3 |
| | 19.3 | 21.9 | 19.5 | 22.5 | 23.3 | 24.2 | 20.8 | 22.4 | 18.0 | 20.3 | 14.8 | 17.7 | 19.6 | 20.6 | 21.1 | 18.0 |
| | 19.0 | 21.6 | 19.6 | 22.0 | 23.4 | 24.2 | 20.6 | 21.9 | 17.6 | 20.1 | 15.2 | 18.0 | 20.0 | 21.1 | 21.3 | 17.4 |
| | 18.4 | 21.5 | 19.8 | 21.8 | 23.1 | 23.9 | 20.3 | 21.3 | 17.9 | 20.4 | 15.4 | 17.6 | 19.9 | 21.0 | 21.7 | 16.1 |
| 5 | 18.4 | 21.4 | 19.1 | 20.6 | 22.6 | 22.3 | 20.1 | 21.1 | 17.9 | 20.0 | 14.8 | 16.8 | 19.6 | 20.5 | 20.5 | 15.8 |
| | 18.4 | 21.0 | 19.1 | 20.2 | 22.6 | 22.9 | 19.9 | 21.0 | 17.9 | 19.8 | 14.9 | 16.9 | 19.6 | 20.4 | 20.4 | 16.5 |
| | 18.1 | 20.8 | 19.1 | 19.5 | 22.4 | 22.7 | 19.7 | 20.7 | 17.1 | 17.0 | 14.5 | 17.1 | 19.3 | 20.1 | 20.1 | 16.1 |
| | 17.7 | 20.5 | 19.1 | 18.9 | 22.1 | 22.8 | 19.6 | 19.9 | 16.2 | 17.0 | 14.0 | 16.9 | 19.1 | 20.1 | 19.9 | 15.3 |
| | 17.9 | 20.5 | 19.5 | 19.2 | 21.9 | 22.4 | 19.6 | 19.7 | 16.4 | 17.0 | 14.1 | 16.8 | 19.1 | 20.4 | 20.0 | 15.3 |
| 10 | 17.6 | 20.3 | 19.3 | 19.5 | 22.5 | 22.3 | 19.7 | 19.7 | 16.4 | 17.0 | 13.9 | 16.7 | 18.8 | 20.0 | 20.2 | 16.5 |
| | 17.9 | 20.2 | 19.2 | 19.4 | 22.8 | 22.0 | 19.2 | 19.5 | 16.3 | 18.0 | 14.1 | 16.7 | 18.9 | 20.3 | 20.2 | 17.0 |
| | 17.7 | 20.2 | 18.7 | 18.9 | 22.1 | 21.7 | 19.0 | 19.2 | 15.8 | 17.0 | 14.0 | 16.6 | 18.7 | 19.7 | 19.9 | 16.9 |
| | 17.4 | 19.6 | 18.4 | 18.6 | 21.5 | 21.4 | 19.0 | 18.9 | 16.2 | 17.0 | 13.7 | 15.7 | 18.2 | 19.4 | 20.1 | 16.1 |
| | 16.9 | 19.5 | 18.2 | 17.7 | 20.8 | 21.1 | 18.6 | 18.6 | 15.8 | 17.0 | 13.5 | 15.7 | 18.1 | 19.2 | 19.7 | 15.7 |
| 15 | 16.7 | 19.0 | 17.9 | 18.2 | 20.4 | 21.2 | 18.7 | 18.2 | 15.2 | 18.0 | 14.2 | 16.0 | 18.0 | 19.0 | 19.0 | 15.5 |
| | 16.6 | 19.3 | 17.5 | 18.4 | 20.3 | 20.9 | 18.7 | 18.7 | 14.6 | 17.0 | 13.8 | 15.4 | 17.3 | 18.6 | 18.8 | 14.4 |
| | 16.4 | 18.9 | 17.3 | 18.4 | 19.4 | 20.6 | 18.7 | 18.9 | 14.8 | 17.0 | 14.2 | 15.3 | 17.3 | 18.4 | 18.8 | 15.0 |
| | 16.5 | 18.5 | 17.4 | 18.4 | 20.1 | 21.0 | 18.0 | 18.6 | 14.6 | 18.0 | 13.6 | 15.3 | 17.1 | 18.7 | 18.8 | 16.3 |
| | 16.1 | 18.3 | 17.3 | 17.4 | 20.0 | 20.8 | 17.8 | 18.8 | 14.4 | 16.0 | 13.4 | 15.5 | 17.1 | 18.4 | 19.0 | 16.2 |
| 20 | 15.4 | 17.8 | 17.4 | 17.1 | 20.1 | 20.5 | 17.8 | 17.8 | 14.7 | 16.0 | 13.4 | 14.1 | 17.0 | 18.3 | 19.0 | 15.7 |
| | 15.3 | 17.7 | 17.0 | 16.7 | 20.0 | 20.3 | 17.2 | 17.6 | 14.5 | | 12.5 | 14.5 | 17.0 | 17.7 | 18.8 | 15.1 |
| | 14.9 | 17.3 | 17.0 | 16.8 | 19.8 | 20.0 | 16.9 | 17.0 | 13.9 | | 12.4 | 14.2 | 16.4 | 17.0 | 18.1 | 15.5 |
| | 14.9 | 17.1 | 16.4 | 17.3 | 19.4 | 20.1 | 16.7 | 16.8 | 13.5 | | 13.3 | 13.9 | 15.8 | 17.1 | 17.6 | 14.9 |
| | 15.2 | 17.0 | 16.5 | 17.4 | 19.3 | 19.8 | 16.7 | 17.1 | 13.7 | | 13.1 | 15.0 | 16.5 | 17.4 | 17.9 | 14.4 |
| 25 | 15.2 | 17.2 | 16.5 | 17.2 | 18.6 | 20.2 | 16.6 | 17.1 | 13.1 | | 13.9 | 15.6 | 16.8 | 17.7 | 18.5 | 14.1 |
| | 15.1 | 17.1 | 16.2 | 16.4 | 19.1 | 19.6 | 16.9 | 17.0 | 12.8 | | 12.8 | 14.6 | 16.7 | 17.6 | 18.2 | 13.9 |
| | 14.9 | 16.6 | 16.3 | 16.9 | 18.8 | 19.2 | 16.2 | 16.5 | 12.8 | | 12.2 | 13.7 | 15.9 | 16.9 | 17.8 | |
| | 14.8 | 16.6 | 16.3 | 16.5 | 18.5 | 18.8 | 15.7 | 16.1 | 12.7 | | 12.8 | 13.9 | 15.9 | 16.7 | 17.7 | |
| | 14.7 | 16.5 | 16.0 | 16.5 | 18.1 | 18.8 | 15.7 | 16.0 | 12.5 | | 12.4 | 13.7 | 15.7 | 16.6 | 17.5 | |
| 30 | 14.7 | 16.3 | 15.9 | 16.2 | 17.6 | 18.5 | 15.5 | 15.8 | 12.4 | | 12.1 | 13.9 | 15.8 | 16.8 | 17.6 | |

表3 主要水源等の水温データ (調査年次の最低水温)

| 月日 | 滝 | 岩洞 | 綱取 | 御所 | 山王海 | 田瀬 | 豊沢 | 入畑 | 石淵 | 湯田 | 西山 | 船田橋 | 紫波 | 金ヶ崎 | 狐禅寺 | 遠野 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5/1 | 9.0 | 4.0 | 6.4 | 9.3 | 9.0 | 9.0 | 5.5 | | 5.4 | 6.0 | 5.0 | 5.0 | 8.2 | 6.4 | 6.9 | |
| | 8.6 | 4.0 | 8.2 | 10.0 | 9.0 | 10.0 | 5.5 | | 5.0 | 6.0 | 4.3 | 6.3 | 8.2 | 8.8 | 9.8 | |
| | 8.5 | 4.0 | 8.2 | 3.8 | 9.0 | 9.5 | 5.5 | | 4.8 | 6.0 | 4.9 | 5.8 | 7.9 | 9.5 | 8.2 | |
| | 8.9 | 5.5 | 7.6 | 4.3 | 9.0 | 10.0 | 5.5 | | 5.4 | 6.0 | 4.5 | 7.4 | 7.4 | 7.9 | 9.1 | |
| 5 | 9.9 | 5.0 | 8.8 | 3.6 | 9.0 | 10.0 | 7.0 | | 5.7 | 7.0 | 5.3 | 7.2 | 8.5 | 8.2 | 9.5 | |
| | 9.6 | 3.0 | 8.8 | 9.8 | 9.0 | 10.0 | 6.0 | | 5.4 | 6.0 | 5.3 | 7.3 | 9.3 | 9.8 | 9.9 | |
| | 9.4 | 5.0 | 7.0 | 10.9 | 8.5 | 11.0 | 7.0 | | 5.9 | 7.0 | 5.5 | 8.2 | 9.5 | 9.7 | 9.9 | |
| | 9.5 | 5.0 | 8.8 | 10.3 | 8.5 | 11.0 | 7.3 | | 5.2 | 7.0 | 5.0 | 8.0 | 10.4 | 9.8 | 10.0 | |
| 10 | 9.6 | 6.0 | 9.4 | 10.0 | 8.5 | 11.5 | 7.8 | | 5.0 | 7.0 | 5.4 | 8.5 | 9.8 | 10.0 | 10.0 | |
| | 9.3 | 6.0 | 10.0 | 13.0 | 10.0 | 11.5 | 7.3 | | 4.8 | 7.0 | 4.4 | 7.8 | 10.1 | 9.3 | 10.0 | |
| | 11.0 | 6.0 | 8.2 | 13.5 | 9.0 | 11.0 | 7.5 | | 5.0 | 8.0 | 5.0 | 7.1 | 9.9 | 9.5 | 10.0 | |
| | 10.1 | 6.0 | 10.6 | 15.0 | 8.0 | 12.0 | 7.0 | | 5.4 | 8.0 | 5.6 | 8.9 | 10.3 | 10.4 | 10.0 | |
| 15 | 9.5 | 6.0 | 10.0 | 11.7 | 9.0 | 13.0 | 7.0 | | 6.0 | 8.0 | 5.5 | 9.1 | 10.4 | 10.9 | 12.3 | |
| | 9.4 | 7.0 | 10.0 | 11.2 | 10.5 | 13.5 | 7.0 | | 6.2 | 8.0 | 5.5 | 7.8 | 10.3 | 9.8 | 10.8 | |
| | 10.1 | 7.5 | 7.6 | 13.5 | 9.5 | 13.0 | 7.0 | | 6.6 | 9.0 | 5.0 | 7.1 | 10.1 | 9.1 | 9.9 | |
| | 11.0 | 7.5 | 6.4 | 13.0 | 10.0 | 13.0 | 7.0 | | 6.7 | 9.0 | 5.5 | 7.3 | 10.1 | 9.5 | 10.0 | |
| 20 | 11.0 | 7.5 | 7.6 | 10.4 | 11.0 | 13.0 | 8.8 | | 7.2 | 9.0 | 4.7 | 9.1 | 10.0 | 11.1 | 10.0 | |
| | 11.4 | 8.0 | 7.6 | 12.5 | 10.5 | 14.0 | 8.4 | | 6.6 | 8.0 | 5.0 | 9.4 | 10.8 | 11.5 | 10.0 | |
| | 11.6 | 9.0 | 8.2 | 14.4 | 11.0 | 14.0 | 8.8 | | 7.6 | 9.0 | 5.2 | 9.5 | 11.5 | 11.1 | 10.0 | |
| | 12.2 | 10.5 | 10.6 | 14.2 | 11.0 | 14.5 | 9.6 | | 8.0 | 10.0 | 5.5 | 9.6 | 11.0 | 12.1 | 12.6 | |
| 25 | 11.8 | 10.5 | 10.0 | 15.0 | 12.5 | 14.5 | 10.3 | | 7.6 | 10.0 | 5.9 | 9.6 | 11.9 | 13.0 | 13.5 | |
| | 11.8 | 10.5 | 10.0 | 14.5 | 12.0 | 16.0 | 9.8 | | 7.9 | 9.0 | 5.8 | 9.5 | 11.2 | 13.1 | 14.2 | |
| | 12.7 | 10.0 | 10.6 | 14.0 | 13.5 | 16.5 | 10.0 | | 7.6 | 9.0 | 5.5 | 10.9 | 11.4 | 12.9 | 14.6 | |
| | 12.4 | 10.0 | 10.6 | 11.4 | 12.5 | 15.0 | 10.3 | | 6.4 | 10.0 | 5.8 | 9.9 | 10.3 | 12.4 | 13.8 | |
| 6/1 | 12.6 | 10.0 | 10.0 | 13.4 | 13.5 | 15.5 | 10.7 | | 6.5 | 11.0 | 6.5 | 9.1 | 10.2 | 12.4 | 12.7 | |
| | 11.6 | 11.0 | 11.2 | 9.7 | 13.5 | 14.5 | 10.5 | 9.6 | 6.5 | 11.0 | 6.5 | 8.6 | 11.3 | 11.7 | 12.7 | 6.5 |
| | 11.4 | 10.5 | 10.0 | 15.5 | 13.5 | 16.0 | 10.5 | 9.5 | 7.5 | 11.0 | 6.9 | 8.9 | 11.9 | 12.8 | 13.5 | 6.9 |
| | 10.8 | 11.5 | 10.0 | 15.2 | 15.0 | 16.0 | 11.4 | 10.0 | 7.7 | 11.0 | 7.0 | 10.1 | 12.4 | 13.4 | 14.3 | 7.0 |
| 5 | 11.1 | 12.0 | 10.0 | 15.0 | 15.0 | 17.0 | 11.8 | 10.8 | 7.1 | 10.0 | 6.6 | 10.2 | 12.3 | 14.0 | 14.2 | 6.6 |
| | 11.0 | 12.0 | 9.4 | 14.5 | 15.5 | 16.5 | 11.8 | 11.5 | 8.0 | 10.0 | 6.8 | 11.1 | 13.0 | 14.2 | 14.4 | 6.8 |
| | 12.0 | 12.0 | 10.0 | 14.6 | 15.0 | 17.5 | 12.5 | 12.7 | 9.0 | 10.0 | 7.4 | 11.1 | 12.7 | 14.5 | 15.4 | 7.4 |
| | 12.4 | 13.5 | 10.0 | 14.5 | 16.0 | 17.0 | 13.2 | 13.4 | 9.2 | 10.0 | 7.0 | 11.9 | 13.5 | 13.8 | 14.3 | 7.0 |
| 10 | 11.2 | 13.5 | 10.6 | 15.5 | 15.0 | 18.0 | 13.5 | 11.3 | 9.2 | 9.0 | 6.5 | 12.2 | 13.4 | 15.3 | 16.3 | 6.5 |
| | 10.6 | 14.0 | 10.6 | 15.1 | 15.0 | 17.5 | 12.8 | 11.5 | 8.6 | 10.0 | 8.5 | 11.9 | 14.8 | 14.8 | 15.7 | 8.5 |
| | 10.2 | 13.0 | 11.2 | 14.8 | 16.0 | 19.0 | 12.0 | 12.0 | 10.7 | 12.0 | 7.0 | 9.5 | 13.9 | 13.1 | 13.6 | 7.0 |
| | 9.6 | 14.0 | 11.8 | 14.7 | 15.5 | 19.0 | 13.9 | 11.3 | 9.0 | 12.0 | 7.0 | 10.0 | 13.2 | 15.5 | 14.4 | 7.0 |
| 15 | 8.7 | 13.5 | 12.4 | 15.4 | 16.0 | 17.5 | 14.0 | 10.6 | 9.1 | 13.0 | 7.8 | 9.5 | 12.7 | 13.2 | 14.5 | 7.8 |
| | 8.3 | 14.0 | 13.0 | 15.6 | 16.0 | 17.0 | 14.0 | 12.0 | 9.2 | 11.0 | 8.0 | 10.5 | 12.9 | 10.0 | 13.9 | 8.0 |
| | 9.4 | 14.0 | 13.0 | 16.5 | 16.0 | 18.5 | 14.0 | 12.7 | 9.0 | 12.0 | 7.3 | 11.6 | 13.9 | 16.2 | 15.1 | 7.3 |
| | 10.1 | 14.0 | 13.0 | 17.0 | 16.0 | 19.5 | 13.4 | 13.5 | 9.0 | 11.0 | 7.7 | 12.6 | 14.0 | 15.1 | 16.1 | 7.7 |
| 20 | 10.5 | 14.0 | 13.6 | 17.1 | 16.5 | 20.0 | 13.4 | 13.7 | 9.2 | 13.0 | 8.7 | 12.5 | 14.2 | 14.8 | 16.7 | 8.7 |
| | 10.4 | 14.0 | 13.6 | 15.8 | 16.0 | 19.0 | 14.0 | 14.1 | 8.3 | 13.0 | 8.6 | 11.7 | 14.9 | 14.6 | 15.8 | 8.3 |
| | 10.9 | 15.5 | 13.0 | 17.0 | 17.0 | 19.0 | 14.2 | 13.7 | 9.5 | 12.0 | 7.7 | 13.3 | 15.3 | 15.3 | 16.2 | 7.7 |
| | 10.2 | 16.0 | 13.0 | 15.8 | 16.0 | 19.0 | 13.0 | 13.0 | 11.0 | 11.0 | 9.2 | 13.3 | 16.1 | 16.0 | 17.6 | 9.2 |
| 25 | 11.8 | 15.5 | 13.0 | 18.3 | 16.5 | 19.0 | 13.5 | 15.5 | 12.6 | 14.0 | 9.5 | 13.5 | 16.1 | 17.4 | 16.6 | 9.5 |
| | 11.1 | 15.0 | 13.0 | 17.7 | 16.0 | 20.0 | 14.0 | 14.5 | 13.1 | 13.0 | 10.0 | 14.0 | 16.3 | 16.6 | 17.8 | 10.0 |
| | 11.5 | 16.0 | 11.2 | 19.2 | 16.0 | 20.0 | 13.5 | 14.2 | 13.6 | 15.0 | 9.0 | 14.3 | 15.9 | 16.1 | 16.8 | 9.0 |
| | 10.0 | 15.0 | 11.2 | 16.7 | 17.0 | 20.0 | 14.6 | 14.8 | 13.7 | 14.0 | 9.8 | 14.2 | 16.2 | 17.2 | 17.5 | 9.8 |
| 6/5 | 10.6 | 17.0 | 11.8 | 19.5 | 17.5 | 20.5 | 15.0 | 14.8 | 13.7 | 13.0 | 10.9 | 15.0 | 15.2 | 18.5 | 17.8 | 10.9 |
| | 9.2 | 16.5 | 11.2 | 18.7 | 17.0 | 20.0 | 14.8 | 14.2 | 13.0 | 13.0 | 10.6 | 13.6 | 15.1 | 15.3 | 16.5 | 10.6 |
| | 9.4 | 16.0 | 10.6 | 18.1 | 16.0 | 20.0 | 14.5 | 15.6 | 10.7 | 14.9 | 10.2 | 14.0 | 16.2 | 14.9 | 15.4 | 10.2 |
| | 8.4 | 15.0 | 11.8 | 17.0 | 16.5 | 19.5 | 14.2 | 16.4 | 10.5 | 15.0 | 9.8 | 15.0 | 16.1 | 15.5 | 16.7 | 9.8 |
| 6/10 | 9.4 | 15.0 | 11.8 | 16.8 | 16.0 | 19.0 | 15.5 | 15.9 | 12.2 | 15.0 | 10.1 | 13.9 | 16.3 | 15.2 | 16.4 | 10.1 |
| | 8.3 | 15.0 | 11.8 | 17.0 | 17.0 | 18.0 | 15.6 | 15.3 | 11.2 | 14.0 | 9.7 | 13.3 | 16.2 | 15.4 | 16.1 | 9.7 |
| | 8.4 | 16.0 | 13.0 | 16.7 | 17.0 | 19.5 | 15.2 | 14.4 | 11.1 | 13.0 | 10.7 | 14.2 | 16.0 | 15.7 | 16.6 | 10.7 |
| | 10.2 | 16.5 | 12.5 | 17.7 | 17.0 | 20.0 | 15.1 | 16.4 | 10.5 | 14.0 | 10.5 | 13.5 | 16.2 | 15.6 | 16.1 | 10.5 |
| 6/15 | 10.6 | 16.5 | 12.4 | 18.9 | 17.0 | 19.0 | 15.5 | 16.7 | 10.0 | 15.0 | 10.7 | 14.6 | 16.5 | 16.9 | 18.1 | 10.0 |
| | 11.2 | 16.5 | 13.0 | 19.0 | 19.0 | 19.0 | 15.0 | 16.2 | 11.4 | 15.0 | 11.0 | 15.6 | 15.2 | 16.9 | 17.7 | 11.0 |
| | 11.9 | 16.5 | 11.2 | 18.5 | 18.0 | 20.0 | 16.0 | 16.0 | 11.5 | 15.0 | 11.4 | 14.0 | 16.1 | 17.1 | 16.0 | 11.4 |
| | 12.4 | 17.0 | 13.0 | 17.4 | 18.0 | 20.0 | 15.0 | 16.5 | 12.8 | 13.5 | 11.0 | 14.2 | 15.4 | 14.8 | 15.8 | 11.0 |
| 6/20 | 11.7 | 17.0 | 11.2 | 18.2 | 17.5 | 20.0 | 16.3 | 16.7 | 11.5 | 13.5 | 11.2 | 14.2 | 17.0 | 17.9 | 18.1 | 11.2 |

表3 (続き) 主要水源等の水温データ (調査年次の最低水温)

| 月日 | 滝 | 岩洞 | 綱取 | 御所 | 山王海 | 田瀬 | 豊沢 | 入畑 | 石淵 | 湯田 | 西山 | 船田橋 | 紫波 | 金ヶ崎 | 狐禅寺 | 遠野 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 8/31 | 16.6 | 20.0 | 16.0 | 18.0 | 21.0 | 21.0 | 18.0 | 20.4 | 16.1 | 18.0 | 11.6 | 14.8 | 18.1 | 18.4 | 18.8 | 11.6 |
| 9/ 1 | 17.0 | 20.0 | 16.0 | 17.7 | 21.0 | 21.5 | 17.6 | 20.0 | 17.0 | 18.0 | 12.1 | 15.6 | 18.3 | 18.8 | 19.6 | 12.1 |
| | 15.4 | 20.0 | 15.4 | 18.7 | 20.5 | 21.5 | 19.3 | 19.8 | 16.5 | 18.0 | 12.1 | 15.2 | 18.3 | 17.9 | 18.5 | 12.1 |
| 5 | 15.3 | 19.5 | 14.8 | 20.3 | 21.0 | 23.0 | 18.6 | 18.5 | 17.2 | 17.0 | 12.6 | 16.2 | 18.6 | 18.8 | 19.6 | 12.6 |
| | 15.0 | 19.5 | 14.8 | 17.4 | 20.5 | 22.0 | 16.5 | 17.9 | 16.6 | 17.0 | 13.1 | 16.6 | 18.7 | 18.6 | 19.0 | 13.1 |
| | 15.4 | 19.5 | 14.8 | 17.5 | 20.0 | 19.0 | 17.0 | 18.0 | 16.4 | 18.0 | 13.2 | 15.9 | 18.8 | 17.8 | 17.8 | 13.2 |
| | 15.3 | 18.5 | 14.2 | 16.1 | 19.0 | 20.5 | 18.0 | 18.4 | 16.4 | 18.0 | 11.8 | 14.6 | 17.9 | 17.4 | 17.8 | 11.8 |
| | 15.0 | 19.0 | 14.8 | 15.0 | 18.5 | 21.5 | 17.9 | 18.6 | 14.5 | 17.0 | 12.6 | 14.7 | 18.2 | 18.5 | 18.8 | 12.6 |
| 10 | 14.8 | 18.5 | 14.8 | 16.3 | 17.0 | 22.0 | 17.0 | 17.2 | 13.0 | 17.0 | 13.0 | 16.0 | 18.1 | 18.1 | 18.6 | 13.0 |
| | 15.1 | 18.5 | 14.8 | 16.0 | 16.0 | 21.0 | 16.8 | 17.5 | 13.3 | 17.0 | 12.3 | 13.9 | 18.0 | 16.9 | 17.3 | 12.3 |
| | 15.5 | 18.5 | 14.2 | 16.6 | 19.0 | 20.5 | 17.0 | 17.8 | 12.6 | 17.0 | 13.0 | 14.7 | 17.4 | 17.1 | 17.4 | 12.6 |
| | 15.8 | 18.5 | 14.2 | 16.8 | 20.0 | 21.0 | 16.5 | 17.8 | 14.0 | 18.0 | 13.0 | 15.0 | 17.2 | 18.1 | 18.5 | 13.0 |
| | 15.6 | 18.0 | 14.8 | 17.3 | 20.0 | 20.0 | 16.6 | 17.4 | 13.3 | 17.0 | 12.0 | 13.7 | 16.8 | 17.6 | 17.6 | 12.0 |
| | 16.1 | 18.0 | 14.8 | 16.4 | 19.0 | 19.5 | 17.3 | 17.2 | 14.4 | 17.0 | 12.0 | 13.1 | 16.0 | 17.5 | 17.7 | 12.0 |
| 15 | 15.6 | 18.0 | 14.8 | 15.0 | 18.0 | 20.0 | 16.2 | 16.5 | 14.3 | 17.0 | 12.0 | 13.1 | 15.9 | 17.2 | 17.7 | 12.0 |
| | 15.7 | 18.0 | 14.2 | 15.5 | 18.0 | 19.5 | 17.0 | 17.1 | 12.5 | 18.0 | 12.6 | 14.0 | 16.3 | 16.4 | 16.9 | 12.5 |
| | 15.4 | 18.0 | 13.6 | 15.7 | 17.5 | 20.0 | 17.0 | 17.4 | 12.9 | 17.0 | 11.9 | 14.0 | 15.5 | 16.7 | 17.8 | 11.9 |
| | 15.2 | 18.0 | 13.6 | 17.2 | 16.5 | 20.0 | 17.3 | 17.4 | 12.5 | 17.0 | 12.0 | 13.3 | 15.4 | 16.9 | 17.8 | 12.0 |
| | 14.9 | 17.0 | 13.6 | 16.2 | 17.0 | 20.0 | 16.5 | 17.1 | 12.3 | 18.0 | 11.0 | 12.1 | 16.2 | 17.3 | 17.4 | 11.0 |
| 20 | 13.9 | 17.0 | 13.0 | 15.3 | 16.5 | 19.5 | 15.9 | 17.1 | 12.0 | 16.0 | 10.6 | 12.4 | 16.0 | 15.7 | 16.8 | 10.6 |
| | 12.8 | 15.0 | 12.4 | 15.0 | 17.0 | 19.0 | 16.0 | 16.9 | 11.9 | 16.0 | 10.8 | 10.0 | 15.1 | 15.0 | 15.5 | 10.8 |
| | 12.6 | 16.0 | 12.4 | 15.0 | 16.0 | 19.0 | 15.0 | 16.8 | 11.8 | | 10.6 | 11.6 | 15.1 | 15.7 | 16.2 | 10.6 |
| | 13.8 | 16.0 | 12.4 | 16.0 | 16.0 | 18.5 | 15.5 | 15.8 | 11.5 | | 9.6 | 10.5 | 14.2 | 15.1 | 15.9 | 9.6 |
| | 13.7 | 16.0 | 11.8 | 16.1 | 15.5 | 19.0 | 15.2 | 15.4 | 11.5 | | 10.2 | 11.7 | 14.6 | 15.2 | 15.6 | 10.2 |
| 25 | 13.9 | 15.0 | 12.4 | 15.7 | 15.5 | 19.0 | 15.0 | 16.1 | 11.3 | | 11.7 | 12.8 | 15.4 | 15.2 | 15.8 | 11.3 |
| | 14.1 | 16.0 | 12.4 | 14.7 | 15.0 | 19.5 | 15.1 | 17.0 | 11.0 | | 11.7 | 13.8 | 15.6 | 16.4 | 17.0 | 11.0 |
| | 14.1 | 16.0 | 12.4 | 13.3 | 16.0 | 19.0 | 15.7 | 16.3 | 10.5 | | 11.1 | 12.8 | 15.7 | 16.0 | 17.0 | |
| | 14.1 | 15.0 | 12.4 | 15.5 | 16.5 | 18.5 | 15.5 | 15.7 | 10.4 | | 10.8 | 12.0 | 15.2 | 15.9 | 16.9 | |
| | 14.0 | 15.0 | 12.4 | 15.3 | 16.0 | 18.0 | 14.0 | 15.6 | 10.5 | | 9.9 | 11.1 | 14.6 | 15.1 | 15.7 | |
| | 13.6 | 15.0 | 12.4 | 15.7 | 15.0 | 17.5 | 14.5 | 15.2 | 10.4 | | 9.6 | 11.0 | 14.1 | 15.3 | 15.3 | |
| 30 | 13.4 | 14.5 | 12.4 | 14.4 | 15.5 | 17.5 | 14.1 | 15.3 | 10.3 | | 10.2 | 12.8 | 14.7 | 15.5 | 15.2 | |

表4 主要水源等の水温データの標準偏差

| 月日 | 滝 | 岩洞 | 綱取 | 御所 | 山王海 | 田瀬 | 豊沢 | 入畑 | 石淵 | 湯田 | 西山 | 船田橋 | 紫波 | 金ヶ崎 | 狐禅寺 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5/1 | 1.27 | 1.98 | 2.19 | 4.94 | 1.76 | 2.41 | 1.56 | | 0.72 | 0.98 | 0.68 | 1.15 | 0.73 | 1.71 | 1.87 |
| | 1.52 | 2.11 | 1.99 | 2.01 | 1.54 | 2.24 | 1.58 | | 0.75 | 0.94 | 1.40 | 1.61 | 1.12 | 1.34 | 1.54 |
| | 1.47 | 2.52 | 1.91 | 5.60 | 1.52 | 2.44 | 1.91 | | 1.19 | 0.94 | 1.93 | 1.04 | 1.79 | 1.97 | 2.79 |
| | 1.54 | 2.04 | 1.87 | 3.05 | 1.39 | 1.95 | 1.80 | | 0.62 | 0.82 | 1.52 | 0.79 | 1.26 | 1.37 | 1.75 |
| 5 | 1.32 | 1.96 | 1.59 | 3.16 | 1.21 | 2.14 | 1.60 | | 1.05 | 0.49 | 1.19 | 1.17 | 1.24 | 1.40 | 1.52 |
| | 1.57 | 2.47 | 1.51 | 3.52 | 1.78 | 1.98 | 1.91 | | 1.09 | 1.06 | 1.02 | 1.18 | 0.76 | 1.48 | 1.93 |
| | 1.50 | 2.38 | 1.99 | 2.85 | 1.82 | 1.57 | 1.99 | | 0.82 | 0.83 | 1.30 | 1.45 | 1.04 | 1.78 | 2.45 |
| | 1.47 | 2.32 | 1.65 | 3.45 | 1.95 | 1.55 | 1.70 | | 1.59 | 0.59 | 1.69 | 1.78 | 1.08 | 1.88 | 2.38 |
| 10 | 1.42 | 2.03 | 1.88 | 2.12 | 1.48 | 1.62 | 1.68 | | 1.27 | 1.12 | 1.12 | 1.33 | 1.24 | 1.86 | 2.21 |
| | 1.72 | 2.13 | 1.90 | 3.97 | 1.98 | 2.18 | 1.76 | | 1.51 | 1.30 | 1.20 | 1.51 | 0.86 | 2.09 | 2.23 |
| | 1.33 | 2.24 | 2.44 | 2.72 | 1.96 | 2.09 | 1.81 | | 1.67 | 1.08 | 0.88 | 1.61 | 1.08 | 2.23 | 2.26 |
| | 1.66 | 2.27 | 1.98 | 2.58 | 2.38 | 1.87 | 1.79 | | 1.47 | 1.64 | 0.65 | 1.30 | 0.82 | 1.98 | 2.25 |
| 15 | 1.74 | 1.89 | 2.10 | 3.72 | 2.07 | 1.81 | 1.78 | | 0.91 | 1.58 | 1.55 | 1.44 | 1.07 | 2.11 | 1.90 |
| | 1.94 | 1.95 | 2.46 | 1.60 | 2.69 | 1.67 | 1.95 | | 0.94 | 1.43 | 1.12 | 1.62 | 0.94 | 2.45 | 2.29 |
| | 1.82 | 1.92 | 2.92 | 4.44 | 2.26 | 1.69 | 2.03 | | 0.80 | 1.47 | 1.40 | 1.75 | 1.10 | 2.27 | 2.57 |
| | 1.52 | 1.90 | 3.27 | 1.02 | 1.89 | 1.93 | 1.80 | | 1.19 | 1.22 | 1.75 | 1.96 | 1.36 | 2.57 | 2.59 |
| 20 | 1.40 | 1.64 | 2.89 | 2.17 | 1.60 | 1.38 | 1.50 | | 1.11 | 1.27 | 1.73 | 1.51 | 1.29 | 1.99 | 2.44 |
| | 1.21 | 1.52 | 2.67 | 2.99 | 1.80 | 1.48 | 1.59 | | 1.42 | 1.67 | 2.11 | 1.69 | 1.11 | 1.48 | 2.05 |
| | 1.00 | 1.47 | 2.70 | 2.77 | 2.00 | 2.02 | 1.39 | | 1.06 | 1.19 | 1.72 | 1.44 | 1.06 | 1.85 | 2.17 |
| | 0.90 | 1.25 | 2.45 | 2.29 | 1.88 | 1.84 | 1.46 | | 1.27 | 1.00 | 1.61 | 1.76 | 1.08 | 1.79 | 1.76 |
| 25 | 1.04 | 1.76 | 2.42 | 5.00 | 1.48 | 1.38 | 1.41 | | 1.62 | 0.74 | 1.65 | 1.85 | 0.94 | 1.66 | 2.00 |
| | 1.51 | 1.64 | 2.61 | 1.05 | 1.47 | 0.64 | 1.55 | | 2.04 | 1.12 | 1.68 | 1.94 | 1.08 | 1.92 | 1.89 |
| | 1.44 | 1.99 | 2.48 | 3.68 | 0.93 | 0.61 | 1.59 | | 1.81 | 1.34 | 1.92 | 1.99 | 1.49 | 2.02 | 2.25 |
| | 1.56 | 2.03 | 2.40 | 3.91 | 1.47 | 0.84 | 1.62 | | 2.17 | 0.71 | 1.48 | 1.73 | 1.45 | 2.25 | 2.49 |
| 6/1 | 1.47 | 2.23 | 2.77 | 2.81 | 1.73 | 1.10 | 1.50 | | 2.15 | 0.50 | 1.90 | 1.98 | 1.54 | 2.03 | 2.25 |
| | 1.58 | 1.78 | 2.74 | 2.05 | 1.59 | 1.47 | 1.45 | 0.00 | 2.21 | 0.43 | 1.67 | 2.25 | 1.27 | 2.07 | 2.04 |
| | 1.73 | 1.93 | 2.58 | 2.49 | 1.15 | 1.02 | 1.43 | 0.00 | 1.81 | 0.43 | 1.56 | 2.02 | 1.17 | 1.41 | 1.71 |
| | 1.93 | 1.53 | 2.52 | 4.02 | 0.84 | 1.26 | 1.31 | 0.75 | 1.79 | 1.00 | 1.82 | 1.58 | 1.02 | 1.49 | 1.67 |
| 5 | 1.80 | 1.59 | 2.72 | 3.40 | 0.91 | 0.87 | 1.13 | 1.60 | 2.13 | 0.96 | 1.65 | 1.79 | 1.10 | 1.04 | 1.79 |
| | 1.96 | 1.44 | 3.00 | 2.32 | 1.32 | 1.54 | 1.19 | 1.25 | 1.95 | 1.47 | 1.14 | 1.81 | 1.05 | 0.93 | 1.56 |
| | 1.70 | 1.51 | 3.12 | 1.89 | 1.55 | 1.68 | 1.30 | 0.35 | 1.62 | 1.47 | 1.53 | 1.62 | 0.91 | 0.92 | 1.54 |
| | 1.65 | 1.49 | 2.92 | 3.19 | 1.41 | 1.27 | 1.42 | 0.50 | 1.43 | 0.83 | 1.30 | 1.36 | 0.75 | 1.21 | 1.76 |
| 10 | 1.99 | 1.51 | 2.82 | 1.42 | 1.33 | 1.26 | 1.18 | 2.10 | 1.53 | 2.16 | 2.01 | 1.43 | 0.92 | 1.27 | 1.54 |
| | 2.21 | 1.48 | 2.50 | 3.29 | 1.60 | 1.12 | 1.34 | 2.50 | 1.76 | 1.95 | 1.11 | 1.31 | 0.80 | 1.28 | 1.40 |
| | 2.15 | 1.30 | 2.66 | 2.09 | 1.52 | 0.83 | 1.65 | 2.60 | 1.33 | 1.24 | 1.71 | 2.14 | 0.67 | 1.90 | 1.99 |
| | 2.21 | 1.43 | 2.62 | 2.38 | 1.50 | 0.52 | 1.43 | 2.90 | 1.89 | 1.47 | 1.48 | 2.10 | 0.82 | 1.20 | 1.86 |
| 15 | 2.56 | 1.32 | 2.31 | 4.65 | 1.77 | 1.08 | 1.53 | 3.50 | 2.23 | 1.49 | 1.18 | 2.08 | 1.25 | 1.68 | 1.64 |
| | 2.66 | 1.50 | 2.13 | 2.84 | 1.77 | 1.70 | 1.56 | 1.80 | 2.18 | 2.54 | 1.01 | 1.63 | 1.13 | 2.65 | 1.94 |
| | 2.64 | 1.62 | 2.37 | 6.45 | 1.93 | 1.14 | 1.81 | 1.70 | 2.50 | 1.24 | 1.30 | 1.64 | 1.02 | 1.55 | 1.78 |
| | 2.62 | 1.41 | 2.64 | 4.97 | 1.98 | 1.44 | 1.84 | 1.45 | 2.15 | 1.51 | 1.44 | 1.82 | 1.10 | 1.62 | 1.41 |
| 20 | 2.58 | 1.42 | 2.77 | 0.75 | 1.71 | 1.38 | 1.88 | 1.20 | 2.26 | 0.89 | 1.62 | 1.80 | 1.07 | 2.05 | 1.94 |
| | 2.66 | 1.53 | 2.60 | 6.17 | 1.75 | 0.53 | 1.55 | 0.95 | 2.62 | 2.02 | 1.27 | 1.50 | 1.08 | 1.81 | 1.71 |
| | 2.59 | 1.24 | 2.85 | 2.66 | 1.77 | 0.64 | 1.54 | 1.75 | 2.50 | 2.18 | 1.77 | 1.86 | 1.11 | 2.14 | 2.16 |
| | 2.80 | 1.15 | 3.08 | 4.70 | 2.22 | 1.22 | 1.97 | 2.05 | 2.09 | 2.69 | 1.57 | 1.86 | 1.36 | 1.92 | 2.02 |
| 25 | 2.16 | 1.25 | 2.81 | 1.66 | 2.32 | 1.47 | 1.97 | 1.00 | 1.71 | 1.50 | 1.04 | 1.91 | 0.93 | 1.33 | 1.49 |
| | 2.12 | 1.62 | 3.14 | 4.82 | 2.51 | 1.11 | 1.89 | 1.90 | 1.61 | 1.37 | 1.06 | 1.41 | 1.11 | 1.31 | 2.03 |
| | 1.95 | 1.19 | 3.45 | 1.91 | 2.21 | 0.87 | 1.91 | 2.40 | 1.97 | 0.83 | 1.53 | 1.67 | 1.03 | 1.44 | 1.74 |
| | 2.52 | 1.26 | 3.44 | 1.00 | 1.94 | 0.77 | 1.50 | 1.80 | 1.95 | 1.09 | 1.24 | 1.87 | 0.85 | 1.08 | 1.12 |
| 6/1 | 2.55 | 1.29 | 3.23 | 3.26 | 2.26 | 0.84 | 1.38 | 1.35 | 1.79 | 1.52 | 0.94 | 1.25 | 1.02 | 1.13 | 1.29 |
| | 3.28 | 1.37 | 3.46 | 3.25 | 2.20 | 1.34 | 1.62 | 1.35 | 1.67 | 1.19 | 1.05 | 2.02 | 1.11 | 1.76 | 1.77 |
| | 3.16 | 1.57 | 3.81 | 1.34 | 2.32 | 1.15 | 1.72 | 0.65 | 2.24 | 0.88 | 1.10 | 1.95 | 1.15 | 2.01 | 2.26 |
| | 3.13 | 1.89 | 2.80 | 1.79 | 2.23 | 1.01 | 1.97 | 0.10 | 1.84 | 0.87 | 1.17 | 2.05 | 1.33 | 2.23 | 1.66 |
| 20 | 2.73 | 1.87 | 2.86 | 1.98 | 2.20 | 1.36 | 1.62 | 0.25 | 1.51 | 0.95 | 1.05 | 1.64 | 1.08 | 1.95 | 2.08 |
| | 3.02 | 1.69 | 2.88 | 1.41 | 2.10 | 2.08 | 1.77 | 0.70 | 1.65 | 0.89 | 1.04 | 1.59 | 1.23 | 1.79 | 1.75 |
| | 3.11 | 1.64 | 2.92 | 1.89 | 2.12 | 1.84 | 1.92 | 0.80 | 1.97 | 1.01 | 0.86 | 1.47 | 1.30 | 2.04 | 2.07 |
| | 2.90 | 1.63 | 2.91 | 1.62 | 2.13 | 2.23 | 1.92 | 0.05 | 2.13 | 1.14 | 1.28 | 1.59 | 1.31 | 1.98 | 1.73 |
| 25 | 2.43 | 1.69 | 3.28 | 1.15 | 2.42 | 1.86 | 1.93 | 0.95 | 2.15 | 1.64 | 1.36 | 1.44 | 1.26 | 1.89 | 1.75 |
| | 2.36 | 1.51 | 3.21 | 1.49 | 1.96 | 1.86 | 1.70 | 0.88 | 2.17 | 1.48 | 1.05 | 1.12 | 1.45 | 1.71 | 1.45 |
| | 2.21 | 1.34 | 3.70 | 1.24 | 2.04 | 1.34 | 1.39 | 1.08 | 2.19 | 1.43 | 0.90 | 1.20 | 1.04 | 1.34 | 1.81 |
| | 1.58 | 1.52 | 2.93 | 2.80 | 2.14 | 0.97 | 1.47 | 1.47 | 1.81 | 1.75 | 0.88 | 1.48 | 1.23 | 2.13 | 2.01 |
| | 2.12 | 1.14 | 3.21 | 1.70 | 2.02 | 1.19 | 1.47 | 1.18 | 2.62 | 1.63 | 1.16 | 1.65 | 1.12 | 1.74 | 1.98 |

表4 (続き) 主要水源等の水温データの標準偏差

| 月日 | 滝 | 岩洞 | 綱取 | 御所 | 山王海 | 田瀬 | 豊沢 | 入畑 | 石淵 | 湯田 | 西山 | 船田橋 | 紫波 | 金ヶ崎 | 狐禅寺 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 8/31 | 2.50 | 1.49 | 2.85 | 2.74 | 1.27 | 1.63 | 1.98 | 1.47 | 3.78 | 1.50 | 2.53 | 2.06 | 2.19 | 2.32 | 2.49 |
| 9/ 1 | 1.95 | 1.54 | 2.99 | 2.84 | 1.16 | 1.46 | 1.71 | 1.76 | 4.53 | 1.88 | 1.47 | 1.63 | 1.92 | 1.92 | 2.24 |
| | 2.27 | 1.39 | 3.28 | 2.51 | 1.95 | 1.46 | 1.09 | 1.50 | 3.77 | 1.48 | 1.34 | 1.69 | 1.62 | 2.11 | 2.38 |
| | 1.96 | 1.48 | 3.29 | 1.87 | 1.47 | 0.82 | 1.75 | 2.02 | 3.61 | 2.19 | 1.45 | 1.63 | 1.68 | 2.00 | 2.03 |
| 5 | 1.70 | 1.37 | 3.21 | 2.20 | 1.78 | 1.07 | 2.14 | 2.17 | 2.83 | 2.16 | 2.06 | 1.75 | 1.88 | 2.43 | 2.65 |
| | 1.48 | 1.29 | 3.04 | 2.19 | 1.78 | 1.95 | 1.80 | 2.00 | 2.90 | 1.58 | 1.18 | 0.93 | 1.30 | 1.93 | 1.55 |
| | 1.77 | 1.54 | 3.22 | 2.96 | 2.48 | 1.61 | 1.71 | 1.90 | 2.69 | 1.48 | 2.38 | 1.70 | 1.26 | 2.02 | 1.50 |
| 10 | 1.75 | 1.50 | 2.99 | 2.89 | 2.51 | 0.90 | 1.66 | 2.10 | 2.98 | | 1.73 | 1.61 | 1.61 | 1.48 | 1.32 |
| | 1.72 | 1.32 | 2.83 | 2.23 | 3.13 | 0.75 | 1.87 | 2.04 | 3.06 | | 1.25 | 1.11 | 1.34 | 1.76 | 1.20 |
| | 1.77 | 1.51 | 3.32 | 2.21 | 3.65 | 1.40 | 1.70 | 1.74 | 2.64 | | 1.69 | 1.60 | 1.24 | 2.29 | 1.49 |
| 15 | 1.30 | 1.40 | 3.17 | 1.52 | 2.57 | 1.42 | 1.67 | 1.57 | 2.72 | | 0.78 | 1.27 | 1.02 | 1.75 | 1.85 |
| | 1.43 | 1.43 | 3.14 | 2.25 | 2.25 | 1.14 | 1.80 | 1.80 | 2.25 | | 0.79 | 1.12 | 1.25 | 1.48 | 1.48 |
| | 1.39 | 1.57 | 2.90 | 1.25 | 2.01 | 1.45 | 1.56 | 1.78 | 2.52 | | 1.50 | 1.72 | 1.30 | 1.74 | 1.35 |
| 20 | 1.52 | 1.51 | 2.93 | 1.21 | 2.21 | 1.25 | 1.11 | 1.45 | 1.89 | | 1.51 | 1.73 | 1.30 | 1.49 | 1.71 |
| | 1.07 | 1.23 | 2.60 | 1.73 | 2.59 | 1.02 | 1.29 | 1.47 | 1.65 | | 0.86 | 1.01 | 1.19 | 1.27 | 1.47 |
| | 0.71 | 0.87 | 2.32 | 1.49 | 2.48 | 1.11 | 1.06 | 1.14 | 1.52 | | 1.25 | 1.05 | 1.20 | 1.23 | 1.24 |
| 25 | 0.57 | 0.72 | 2.57 | 1.44 | 1.95 | 1.06 | 1.04 | 0.97 | 1.33 | | 1.59 | 1.19 | 1.17 | 1.06 | 1.06 |
| | 0.72 | 0.71 | 2.64 | 0.75 | 1.71 | 1.02 | 0.69 | 0.98 | 1.57 | | 2.91 | 1.49 | 1.22 | 1.24 | 1.11 |
| | 1.30 | 0.88 | 2.74 | 1.03 | 1.98 | 1.02 | 1.15 | 1.50 | 2.40 | | 2.02 | 1.93 | 1.19 | 1.47 | 1.56 |
| 30 | 1.62 | 1.03 | 2.46 | 1.33 | 2.06 | 1.33 | 1.35 | 1.47 | 2.36 | | 1.92 | 1.89 | 1.37 | 1.56 | 1.79 |
| | 1.21 | 1.33 | 2.71 | 1.01 | 1.88 | 1.32 | 1.44 | 1.42 | 2.28 | | 2.27 | 2.55 | 1.77 | 1.77 | 2.19 |
| | 1.41 | 1.23 | 2.68 | 0.80 | 2.47 | 1.19 | 1.53 | 1.32 | 1.99 | | 2.06 | 2.09 | 1.67 | 1.92 | 2.18 |
| 10 | 0.86 | 0.96 | 2.44 | 0.55 | 2.36 | 1.08 | 1.28 | 1.15 | 1.67 | | 2.57 | 3.10 | 2.00 | 1.54 | 2.16 |
| | 0.78 | 0.94 | 2.20 | 0.67 | 2.48 | 0.99 | 1.08 | 0.89 | 1.33 | | 3.25 | 1.17 | 0.98 | 1.62 | 1.47 |
| | 0.82 | 0.91 | 2.10 | 1.45 | 2.41 | 0.79 | 1.00 | 0.62 | 1.54 | | 1.28 | 1.28 | 0.81 | 1.42 | 1.07 |
| 15 | 0.87 | 0.87 | 2.07 | 1.37 | 2.22 | 0.61 | 0.78 | 0.11 | 1.32 | | 1.55 | 1.43 | 0.95 | 0.78 | 1.01 |
| | 0.79 | 0.96 | 1.92 | 1.44 | 1.88 | 0.52 | 0.74 | 0.59 | 1.32 | | 1.24 | 0.90 | 0.84 | 0.92 | 1.09 |
| | 0.70 | 0.91 | 1.95 | 1.04 | 1.44 | 0.72 | 0.47 | 0.62 | 1.47 | | 1.12 | 1.03 | 0.59 | 0.58 | 0.82 |
| 20 | 0.64 | 1.08 | 1.89 | 1.07 | 2.18 | 0.68 | 0.91 | 0.46 | 1.41 | | 2.04 | 2.26 | 1.10 | 1.00 | 1.09 |
| | 0.79 | 1.08 | 1.74 | 0.71 | 2.30 | 0.95 | 0.87 | 0.62 | 1.33 | | 1.94 | 1.35 | 0.84 | 0.83 | 1.15 |
| | 0.96 | 1.27 | 1.72 | 1.04 | 2.04 | 0.75 | 0.79 | 0.37 | 1.30 | | 1.65 | 1.33 | 1.06 | 0.98 | 1.41 |

2 用水の水温変化について

用水が水源から水田ほ場にたどり着くまでは、様々な条件のもとでの水温変化がおこる。その中でも地形・気象的要因が大きな影響を及ぼすと考えられ、過去には周期性に基づく河川水温の予測も試みられた²⁾。ここでは、1河川(人首川)の水温変化、及びコンクリート用水路(石淵ダム水系円筒分水工からの水路)について調査・解析し、用水路の水温上昇関係式を作成した。

また、これまでほ場整備に伴いパイプライン給水となったため給水温が低いといわれていた。しかし、具体的なデータは不十分であったことからパイプライン深の地温と気温の関係(水沢市玉の木地区)について検討した。

(1) 河川の場合(人首川)

標高160m地点(Y_1)と80m地点(Y_2)の2地点(2点間の距離4350m, 調査区間は通常平均流速は0.8~1.0m/s, 河川幅平均約25m, 平均水深約50cm)の1997年6~8月の期間の日平均水温は、 $Y_2=1.3177 \times Y_1 - 2.3806$ ($r^2=0.9504$)の関係が認められた(図4)。下流ほど水温が高く、上流と下流で平均1.99°C(最小0.13~最大3.75°C)の水温上昇が確認された。河川の流量の増加、および流速の増加に伴ってこの水温上昇程度は小さくなるものと推定される³⁾。また、河川底が滑らかなほど空気に接する機会が少なく夏期は水温の上昇が小さいという報告もある⁴⁾。

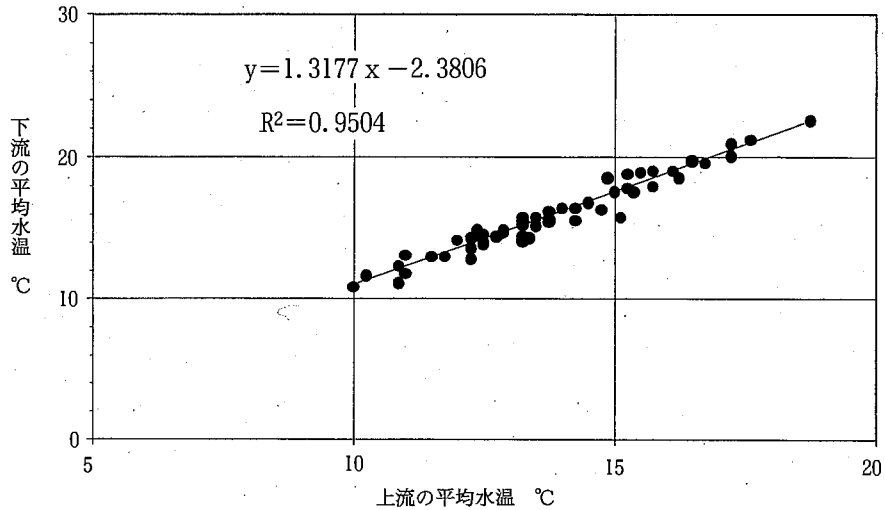


図4 人首川の上流と下流の水温の関係 (1997年)

(2) コンクリート用水路の場合 (石淵ダム水系の胆沢平野)

石淵ダム水系のコンクリート用水路において、1995～1996年に水温及び流速のモニタリング調査・解析をおこなった。その結果、流速、勾配等から以下の通り水温推定式を作成・検証した。また、パイプライン水温についても実際の地温等を調査した。

- ①勾配 (標高差m/基準点からの距離差m) と平均流速 (m/s) の関係からコンクリートオープン水路について、流速 (m/s) = $66.2 \times \text{勾配} - 0.067$ の関係が認められた (図5)。
- ②距離当たりの水温上昇率について、水温上昇率 (°C/km) = $-0.55 \times \text{流速 (m/s)} + 0.776$ の関係が認められ (図6)、このことから、水温は、 $\text{水温} = t_B + 0.001 \times d_B (-0.55 \times (66.2 \times \text{勾配} - 0.067) + 0.776)$ (ただし、 t_B : 分水工 (胆沢平野の水路起点) 水温 (°C)、 d_B : 分水工からの距離 (m)、勾配: 標高差m/基準点からの距離差m) という関係が明らかになった。

排水路分離水路下流では実際に平均2.9°C程度 (最小1.6～最大3.6°C) の水温上昇が確認されたが、この関係式による誤差は、排水路分離の水路で「実測値-計算値」は-1.9～1.9°Cであった。排水路を兼ねている場合は誤差が-1.9～5.1°Cと大きい傾向であった (1995年検証結果)。

- ③パイプライン深地温とオープン水路水温の比較では、6～7月頃はほぼ同程度の温度であるが、7月下旬～8月はオープン水路水温が高くなる傾向が認められた。パイプラインの場合の給水温はパイプライン通過時間が長いほどパイプライン地温に近づくが、通常7月下旬～8月上旬頃は給水温は低下すると考えられる。一方、5月頃はパイプライン通過での水温上昇が期待されると考えられる (図7)。

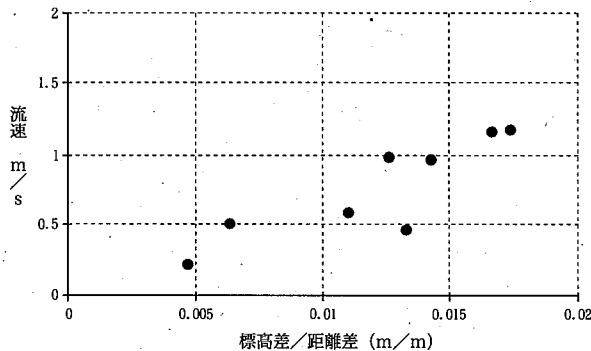


図5 勾配と用水平均流速の関係 (胆沢平野)

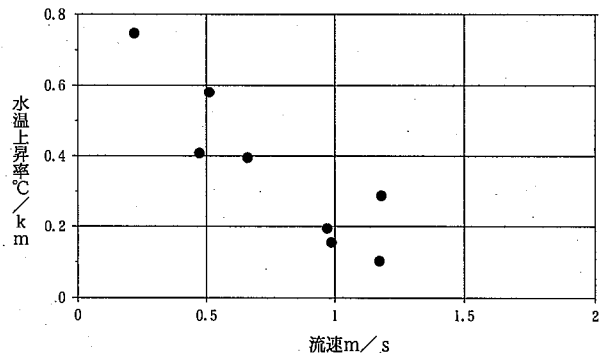


図6 用水の平均流速と距離当たり水温上昇率 (胆沢平野)

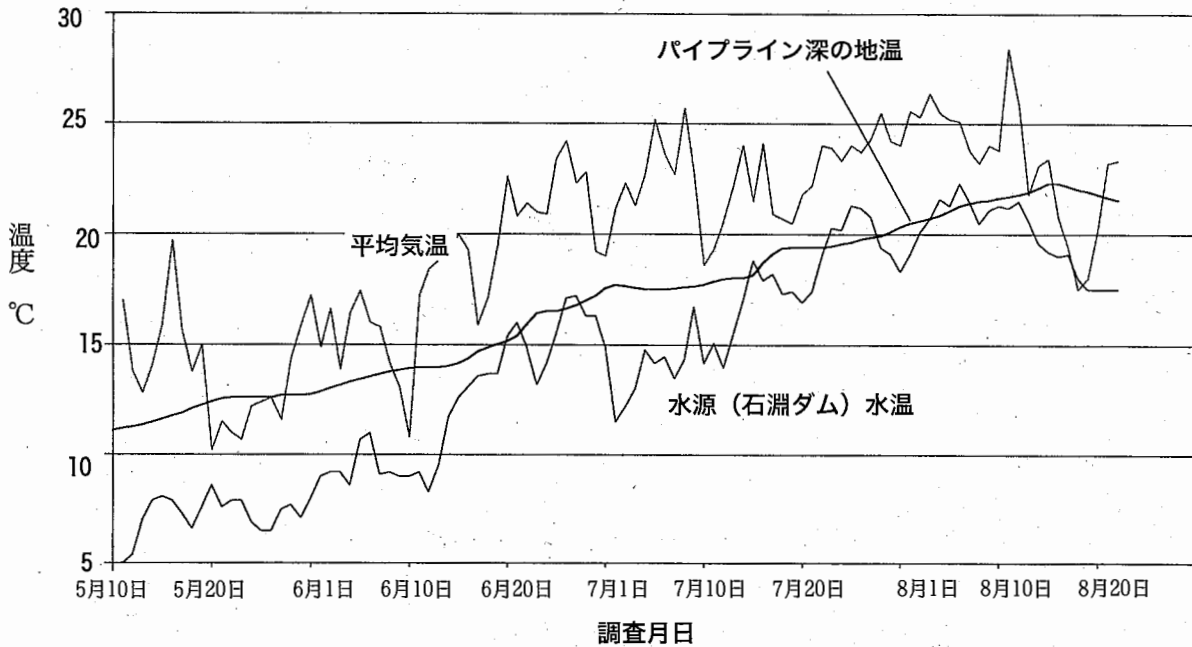


図7 パイプライン深(1m)地温と平均気温の関係(1997年水沢市玉の木)

3 水田ほ場の水温推定

水稲は穂が分化するまでは生長点が水中にあるため、生育には気温だけでなく水温の影響がかなり大きい⁵⁾。また、これまで水田の水温推定では高い精度が求められ、様々な環境計測を必要とする場合が多いことから、県内全域などを対象とした調査は困難であり、生育解析予測などに対し大きな障害であった。しかし今回、メッシュ気象情報システムのデータを用いることで、水温実測値との誤差の平均が2℃以下で推定することが可能となることを明らかにした。

(1) メッシュ気象情報データを用いたほ場水温推定式

①推定式の作成

坪井らの水温推定基本式(式1)においてS(正味放射量)、d(飽差)、a(温度微係数)の3つの因子について以下の変換を行った。

Sについては、1996年5月～8月の期間、岩手県農業試験場県南分場(現岩手県農業研究センター農産部銘柄米開発研究室)で観測した裸地での日放射量(cal/cm²・day)とアメダス日照時間Sa(hr/day)の回帰式から、裸地の純放射量S'(cal/cm²・sec)を

$$S' = (38.5 \times Sa + 240.1) / 24 / 3600 \quad \dots(\text{式2})$$

とした。また、稲体による田面の遮蔽を考慮し、1996年に水沢市で測定した水温実測値と推定値との誤差とS'の関係から月別に回帰式を作成し、S(正味放射量)を

$$S = C_1 \times S' + C_2 \quad \dots(\text{式3})$$

とし、誤差を補正した。ただし、C₁、C₂との値は月別に固有のものであり表5のとおりである。

表5 稲体による田面の遮蔽に関する係数

| 月 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|
| C ₁ | 0.00051 | 0.00164 | 0.00151 | 0.00128 |
| C ₂ | 0.00286 | 0.00245 | 0.00260 | 0.00207 |

dについては、岡田⁶⁾の式(式4)

$$e(Ta) = \exp(a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + a_4\theta^4) \quad \dots(式4)$$

ただし、 θ : 温度(°C), $a_1=0.07266115$, $a_2=-3.003879 \times 10^{-4}$,

$a_3=1.181765 \times 10^{-5}$, $a_4=-3.863083 \times 10^{-9}$, a_0 は単位系により

異なり $a_0=6.614672$ (Pa), 使用範囲は $-30 \sim 50^\circ\text{C}$,

において飽和水蒸気圧を計算し $10 \sim 30^\circ\text{C}$ で直線とみなし, $Ta^\circ\text{C}$ での飽和水蒸気圧 $e(Ta)$ を,

$$e(Ta) = 1.13 \times Ta - 2.098 \quad \dots(式5)$$

とした。また、一般に気象と湿度にはある程度の関係があり、湿度は1995年と1996年の5月～9月のアメダス日照時間との関係^{7) 8)}から、

$$\text{湿度}(\%) = -1.414 \times Sa + 81.453 \quad \dots(式6)$$

とし、式5、式6からdを式7に変換した。

$$d = e(Ta) \times (1 - \text{湿度}(\%) / 100)$$

$$= (1.13 \times Ta - 2.098) \times (0.18547 + 0.01414 \times Sa) \quad \dots(式7)$$

また、 a (温度微係数)についても岡田の式に基づいて式8とした。

$$a = 0.06 \times Ta + 0.2 \quad \dots(式8)$$

②推定式の検証

式1に式2, 3, 7, 8を入力した推定式を用いて、1995年水沢市鞘田地区、及び1997年遠野市綾織地区のメッシュ気象情報システムデータから水温を推定した。その結果、実測値と推定値との誤差の平均は、1995年5月で 1.09°C (最大 3.16°C) 6月 1.69°C (最大 4.53°C)、7月 0.92°C (最大 2.93°C)、8月 1.22°C (最大 3.11°C)であった。また、1997年の誤差の平均は5月で 0.87°C (最大 1.56°C)、6月 1.92°C (最大 4.38°C)、7月 1.62°C (最大 3.29°C)、8月 1.23°C (最大 1.93°C)であった(図8)。

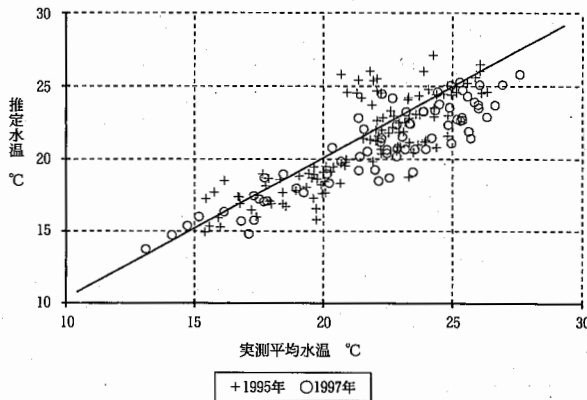


図8 日平均実測水温と推定水温
 (1995年水沢市, 1997年遠野市)

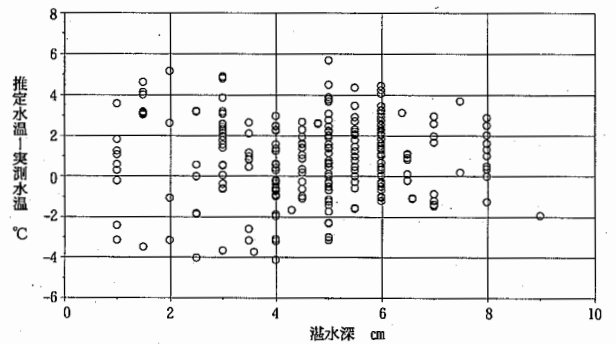


図9 湛水深と日平均水温の誤差
 (1997年, 水沢市)

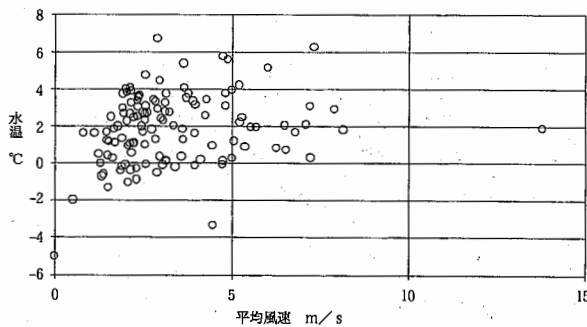


図10 風速と日平均水温誤差の関係
 (1998年, 遠野市)

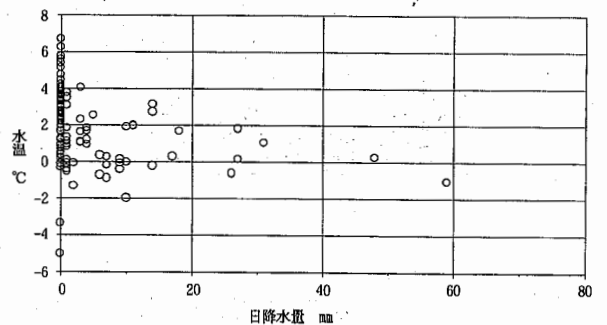


図11 降水量と日平均水温の誤差
 (推定値-実測値) (1998年, 遠野市)

以上から、5月～8月においてアメダスデータとメッシュデータのみから誤差の平均が概ね 2°C 以下で、日平均水温が推定可能と考えられる。

1997年遠野市での測定例では実測水温と比較し推定水温がやや低い傾向にあるが、地域により稲の生育量が異なり、稲体による田面の遮蔽程度が異なるために起こると考えられる。推定精度向上のためには、稲体による田面の遮蔽に関係する地域ごとの適正な係数 (C_1 , C_2) の設定が必要であると考えられた。

一方、アメダスにおける日照時間が0 (ゼロ) の日は、実測水温より低く推定する結果となった。これは、アメダス日照時間では正味放射量が十分に考慮されていないためと考えられる。

推定誤差に与える湛水深、風速、降水量などの影響を解析したが湛水深については判然とせず、風速が大きい場合に水温が高く推定される傾向が認められた (図9, 10)。また、降水量についても判然としないが、降水量が多いほど誤差は小さい傾向であり、空気中の湿度が関係しているものと推定される (図11)。

(2) 時間値水温の推定

水稻の生育では冷害防止の上で、低温持続時間の面からも時間値水温 (特に最低水温) の推定が重要と考えられる。このことから、時間値水温についても推定を試みた。

ただし、時間地水温推定式の検定に用いた実測データは、水沢市鞆田地区 (標高80m, 黒ボク植壊土, 日減水深0.5cm) の100aほ場について1995年5月10日～8月15日 (期間中の日湛水深0.5～15cm)、遠野市綾織地区 (標高250m, 黒ボク植壊土, 日減水深1.0cm) の100a圃場について1997年5月26日～8月4日のほ場中央部の1時間毎観測の表面水温を実測値として用いた。

①時間値気温と実測日射量 (時間値) による推定

遠野市綾織地区で1997年5月26日15時～9月26日11時の期間において時間値水温を推定した結果、誤差は平均で 1.56°C (標準偏差 1.20°C)、 $「推定値 - 実測値」$ で $-6.97 \sim 6.47^{\circ}\text{C}$ の範囲であった。同様に1998年6月18日14時～9月11日17時までの期間では誤差は平均 2.21°C 、 $「推定値 - 実測値」$ で $-5.37 \sim 9.39^{\circ}\text{C}$ であった (図12)。

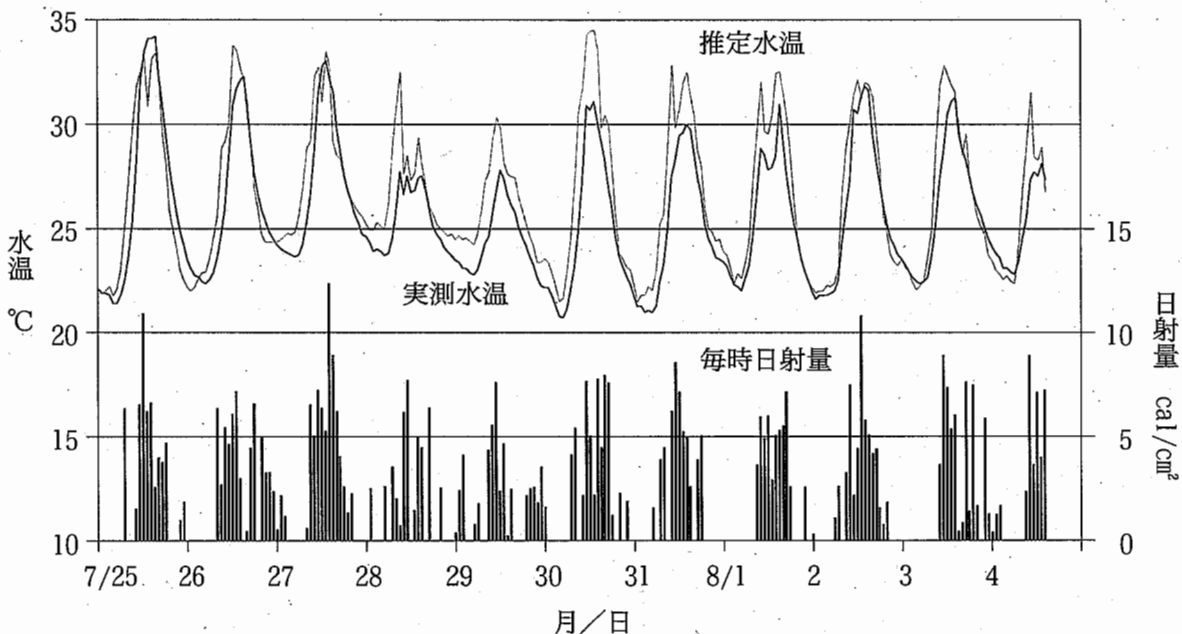


図12 実測日射量に基づく時間値水温の推定 (1997年, 遠野市)

② 仙台リサーチセンター (SRC) の推定日射量を用いた時間値水温の推定

アメダスデータでは日照時間時間値データが不十分であるため、時間値水温の推定が不可能である。そこで、実測の時間値日射量及びSRCの1キロメッシュ推定日射量データを、日平均水温推定式のアメダス日照時間の代わりに使用し時間値水温を推定した。

この結果、6時～19時の時間帯で1997年6月1日～8月31日の期間では誤差の平均が1.75℃（「推定値」－「実測値」は-7.21～5.91℃）、1998年6月19日～8月31日では誤差の平均2.73℃（同-5.07～10.1℃）であり、実測の日射量を用いた場合と同程度の誤差であった（図13）。特に、最低水温をやや高め、最高水温をやや低めに推定する傾向が認められた。

また、この時間値推定水温から計算した日平均水温の実測との誤差は、1997年遠野市で5月1.44℃（最大2.64℃）、6月0.94℃（最大2.79℃）、7月1.00℃（最大3.60℃）、8月1.14℃（最大2.75℃）であり、アメダスデータを用いた日平均水温の推定値よりやや精度が向上した（試験結果および考察3(1)②参照）。

実測日射量は県内全域で測定していないことから、SRCの推定日射量データを用いることで県内全域の時間値水温の推定が可能と考えられる。

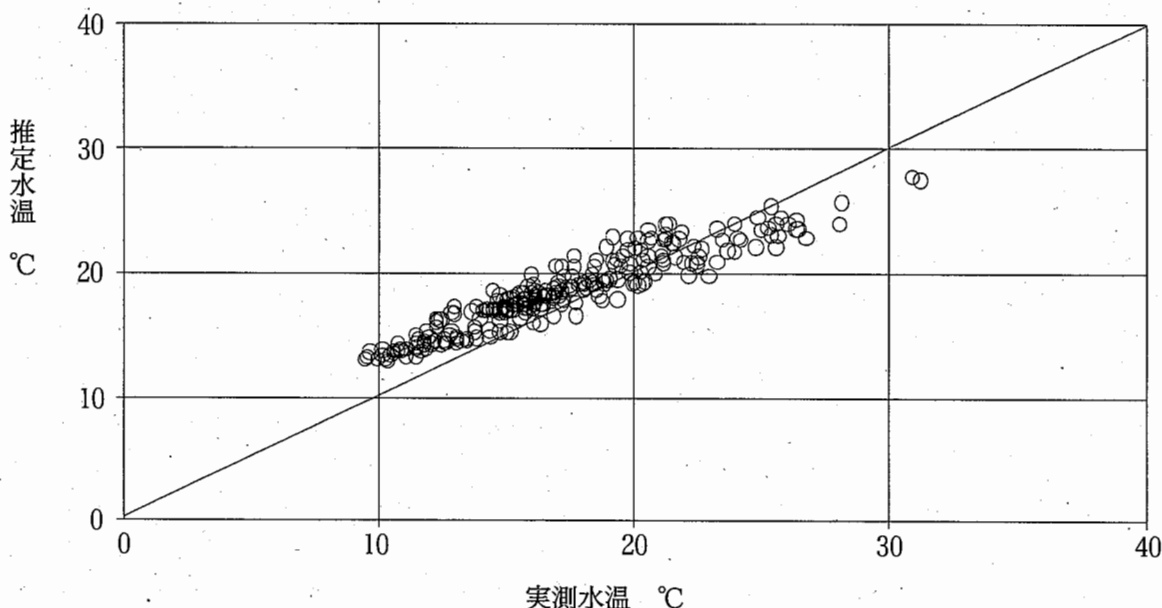


図13 仙台リサーチセンターの推定日射量による時間値水温推定（1997年，遠野市）

4 主要水系の水源水温と水田ほ場水温（推定）との関係

雫石町西山水系や石淵ダム、仙人ダムなどの奥羽山系の水系は水源水温が低いことも影響し、岩洞ダムや田瀬ダムなどの北上山系の水系に比較し水源水温と推定ほ場水温との差が大きい傾向であり、特に5月は顕著であり、7～8月においても用水温が低く、水管理の重要性が指摘できる（表6）。

表6 地域別水系（調査年次の平均水温）と平衡状態の日平均水田ほ場（推定平年値）の実態

| 水源・河川名 | 滝 | 西山 | 山王海 | 豊沢 | 湯田 | 石淵注 ¹⁾ | 岩洞注 ¹⁾ | 網取 | 田瀬 | 猿ヶ石 | 北上川 | 北上川 |
|--------------------------|------|------|------|--------|------|-------------------|-------------------|------|------|------|------|------|
| 調査年次 | H2~9 | 2~10 | 2~10 | S58~11 | 2~5 | 4~11 | 2~11 | 2~11 | 4~9 | 9~10 | 2~11 | 2~11 |
| 水深(cm) | 表面 | 表面 | 表面 | 30cm | 表面 | 表面 | 表面 | 50cm | 表面 | 表面 | 表面 | 表面 |
| 時刻(時) | 9時 | 8時 | 9時 | 9時 | 9時 | 9時 | 9時 | 9時 | 9時 | 平均 | 9時 | 9時 |
| 水田地点 | 久慈 | 雫石 | 紫波 | 花巻 | 和賀 | 若柳 | 好摩 | 盛岡 | 東和 | 遠野 | 好摩 | 一関 |
| 受益面積注 ²⁾ (ha) | 281 | 926 | 2790 | 5316 | 7756 | 8562 | 1970 | — | 2388 | 3545 | — | 655 |
| ダムの取水位置 | 表面 | — | 表面 | 表面 | 表面 | -10m | -2m | -1m | 表面 | — | — | — |
| 5月平均 | 水田 | 14.6 | 15.4 | 15.7 | 16.6 | 16.4 | 16.1 | 15.5 | 15.9 | 16.0 | 15.8 | 15.5 |
| | 水源 | 12.9 | 7.3 | 13.5 | 11.4 | 9.8 | 8.4 | 11.1 | 13.1 | 14.9 | 11.9 | 10.7 |
| (標準偏差) | | 1.5 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | 1.1 | 1.4 | 1.9 | 2.4 | 1.6 | — | 1.6 |
| 較差(水田対比) | | -1.7 | -8.1 | -2.2 | -5.2 | -6.6 | -7.6 | -6.4 | -2.8 | -1.1 | -5.0 | -4.8 |
| 6月平均 | 水田 | 16.5 | 18.3 | 18.5 | 19.4 | 19.1 | 18.7 | 18.2 | 18.8 | 18.8 | 18.1 | 18.2 |
| | 水源 | 15.6 | 11.2 | 18.6 | 17.1 | 14.7 | 14.2 | 17.2 | 16.9 | 20.3 | 14.2 | 15.1 |
| (標準偏差) | | 2.5 | 1.3 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 2.0 | 1.5 | 2.9 | 1.3 | — | 1.7 |
| 較差(水田対比) | | -0.9 | -7.1 | 0.1 | -2.2 | -4.4 | -4.5 | -1.0 | -1.9 | 1.5 | -3.9 | -3.1 |
| 7月平均 | 水田 | 19.2 | 20.9 | 20.9 | 22.8 | 22.5 | 21.2 | 21.8 | 21.5 | 22.3 | 21.0 | 20.8 |
| | 水源 | 18.4 | 14.5 | 21.7 | 20.0 | 17.3 | 18.1 | 21.1 | 18.5 | 24.0 | 16.5 | 17.8 |
| (標準偏差) | | 3.2 | 1.4 | 2.6 | 2.1 | 1.6 | 2.6 | 1.7 | 3.8 | 1.9 | — | 1.4 |
| 較差(水田対比) | | -0.8 | -6.4 | 0.8 | -2.8 | -5.2 | -3.1 | -0.7 | -3.0 | 1.7 | -4.6 | -2.9 |
| 8月平均 | 水田 | 21.2 | 21.9 | 22.3 | 23.2 | 23.0 | 22.5 | 21.9 | 22.8 | 22.7 | 22.0 | 21.9 |
| | 水源 | 19.9 | 15.3 | 22.8 | 22.1 | 19.1 | 19.8 | 22.4 | 20.2 | 24.9 | 17.0 | 18.7 |
| (標準偏差) | | 2.7 | 1.8 | 2.8 | 2.4 | 1.9 | 3.1 | 2.4 | 3.8 | 2.0 | — | 1.8 |
| 較差(水田対比) | | -1.4 | -6.6 | 0.5 | -1.1 | -3.9 | -2.8 | 0.5 | -2.6 | 2.2 | -5.0 | -3.2 |
| 9月平均 | 水田 | 18.2 | 17.7 | 18.2 | 19.2 | 19.2 | 18.7 | 19.2 | 18.6 | 18.9 | 17.9 | 17.6 |
| | 水源 | 16.7 | 13.7 | 20.8 | 18.3 | 18.0 | 15.3 | 19.0 | 17.9 | 21.3 | 15.8 | 15.7 |
| (標準偏差) | | 1.3 | 1.7 | 2.2 | 1.3 | 1.8 | 2.2 | 1.2 | 2.6 | 1.1 | — | 1.6 |
| 較差(水田対比) | | -1.4 | -4.0 | 2.6 | -0.9 | -2.0 | -3.4 | -0.2 | -0.7 | 2.4 | -2.5 | -1.9 |
| 5~9月平均水田 | | 17.9 | 18.8 | 19.1 | 20.2 | 20.0 | 19.4 | 19.9 | 19.5 | 19.7 | 18.9 | 18.8 |
| | 水源 | 16.7 | 12.4 | 19.5 | 17.8 | 15.8 | 15.2 | 18.2 | 17.3 | 21.1 | 15.1 | 15.6 |
| (標準偏差) | | 2.2 | 1.5 | 2.2 | 1.8 | 1.6 | 2.3 | 1.7 | 3.1 | 1.6 | — | 1.6 |
| 較差(水田対比) | | -1.2 | -6.4 | 0.3 | -2.4 | -4.4 | -4.3 | -1.7 | -2.2 | 1.3 | -4.2 | -3.2 |

注. 1) 岩洞ダム、石淵ダムは取水後地下パイプを通して灌漑水に利用。岩洞ダムから滝沢地域への取水の場合、地下のパイプラインを通過して利用されており、出口付近の水温（10時測定）は岩洞ダムの水温より1998年5~9月平均で1.56℃、1999年で1.17℃低いことが確認された。

2) 受益面積は平成5年現在の面積である。

5 灌水時間帯と水温の推移

1/2000 a ポットによる入水時間別水温調査によると、水温時間帯別平均水温は6時~15時では朝入水区（7時15分入水）、夕方入水区（19時00分入水）でそれぞれ22.48℃、23.69℃で1.21℃の水温差が見られた。また、15時~翌朝6時まではそれぞれ20.92℃、20.23℃であり、その差は0.69℃と日中の水温差よりも小さかった。ただし、時間帯別平均地温（深さ5cm）は6時~15時では朝入水区、夕方入水区でそれぞれ20.52℃、20.77℃で0.25℃の差が見られた。また、15時~翌朝6時まではそれぞれ22.70℃、22.00℃でその差は0.70℃と夕方入水区の地温は朝入水区の地温より低かった（図14, 15）。

水温が低い用水を夜間入水した場合、翌朝から翌日中まで水温上昇を抑制する場合があると考えられる。

水温がほ場水温に比べて特に低い雫石西山水系、石淵ダム水系などでは、入水後の水温の上昇が他の水系に比べ遅いことが推測される。こうした地域においては、翌朝の低温が予想される場合、前日の夕方入水したのでは地温の低下が大きく稲に対して悪影響を与えることから、天気予報に注意し、低温が予想される前日の朝までには深水になるよう入水する必要があると考えられる。

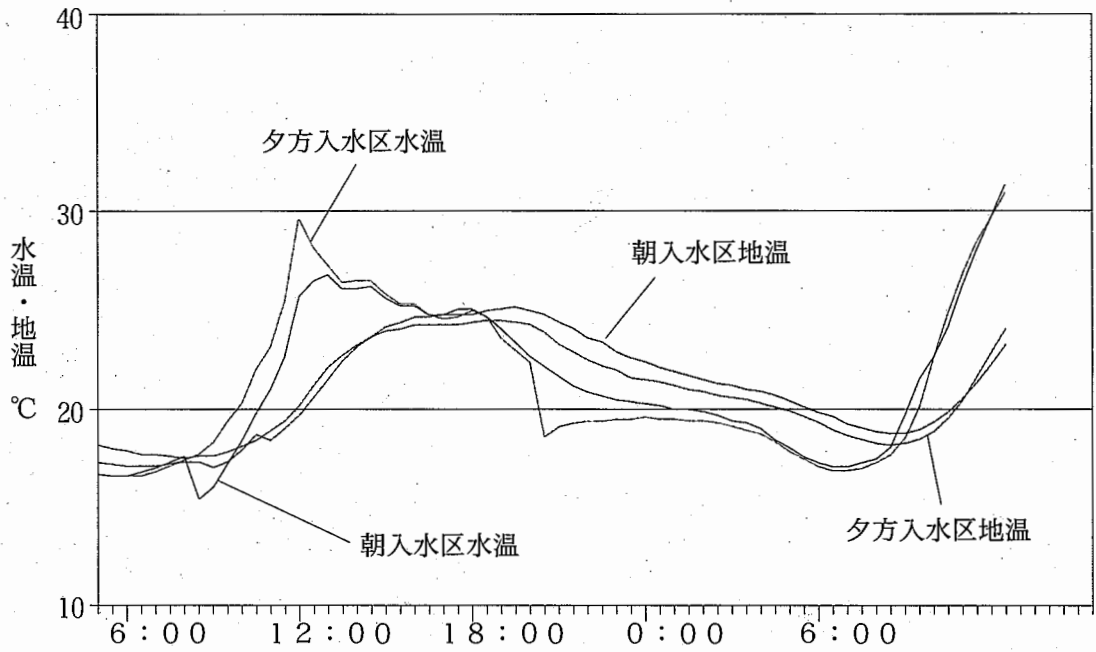


図14 入水時間による水温の推移 (1999年7月17~18日)

〔 1/2000 a ポットにおいて湛水深 1 cm に水温 12.7°C の
 水を湛水深 5 cm まで入水 〕

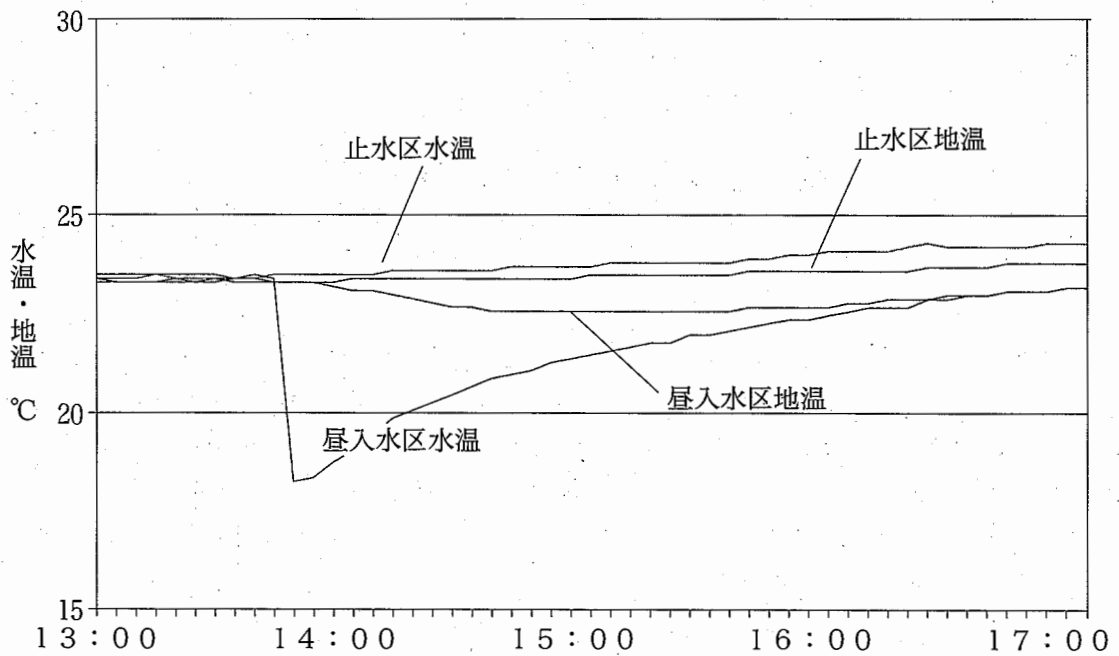


図15 入水時間による水温の推移 (1999年7月27日)

〔 1/2000 a ポットにおいて湛水深 1 cm に水温 12.7°C の
 水を湛水深 5 cm まで入水 〕

6 湛水深の違いによるほ場の水温推移

水深2, 5, 10cmに設定した同一水系同一圃場において水温の変化を調査した結果, 低温時の深水管理は, 湛水深が深いほど最低水温の低下が緩慢であり, 特に低温時の10cm湛水区下層の最低水温の低下がかなり緩慢で保温には効果的であった(図16)。

こうしたことから, 用水温が低い地帯では深い湛水深にすることにより, 入水温の影響を緩和する効果があると考えられる。

今後は, 分けつなど生育に及ぼす影響も考慮した水管理の方式を確立する必要があると考えられる。

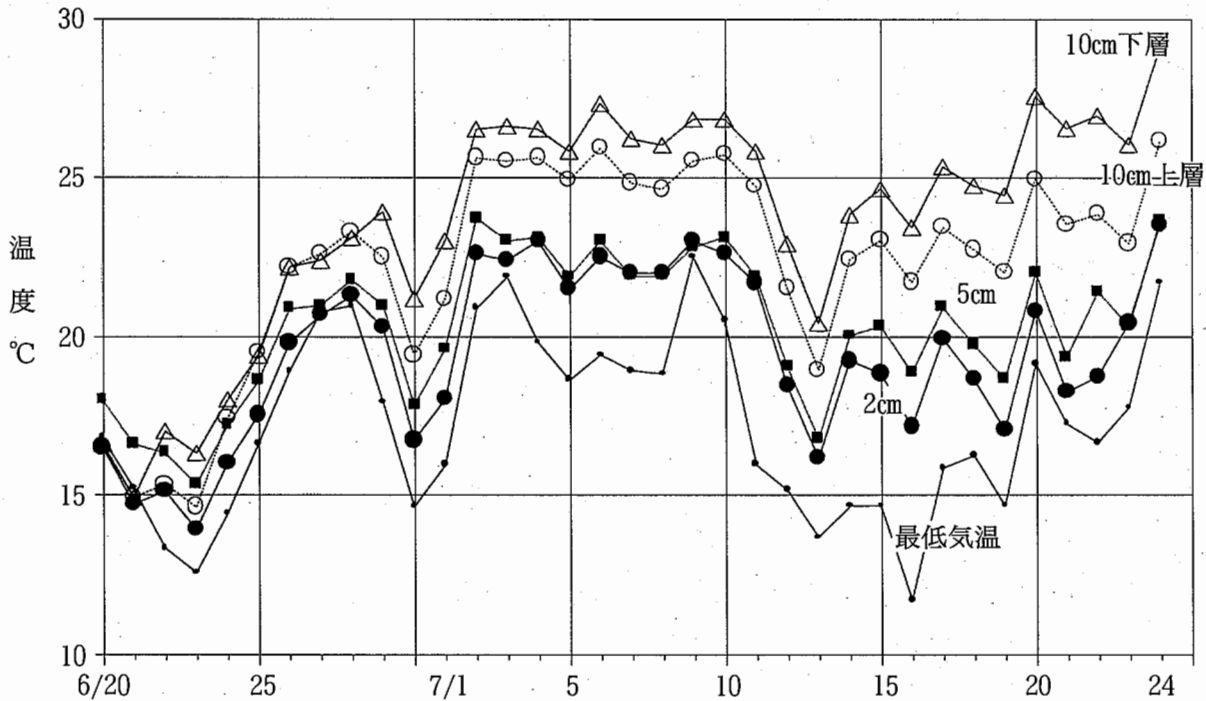


図16 湛水深の違いによる最低水温の推移
(岩手県農業研究センター内の同一圃場, 1998年)

摘 要

岩手県内の農業用水の主要水源等16地点について, 調査した結果, 奥羽山系水源は北上山系水源より水温が低い傾向であった。また, ほ場水温は, アメダスデータ, または仙台リサーチセンターの推定日射量を用い平均誤差 2°C 以下で日平均, 時間値水温が推定可能であった。

さらに, 河川及びオープン用水路での水温上昇, パイプラインによる給水温の低下, ほ場の湛水深の違いによる保温効果についても確認された。

謝 辞

貴重な調査データを提供くださいました建設省北上川ダム統合管理事務所, 建設省岩手工事事務所, 雫石土地改良区, 岩手山麓土地改良区, 山王海土地改良区, 通信・放送機構仙台リサーチセンター, 滝ダム管理事務所, 岩洞ダム管理事務所, 網取ダム管理事務所, 豊沢ダム管理事務所, 北上地方振興局土木部, 仙人第二発電所の方々に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 坪井八十二ら 1977. 新編農業気象ハンドブック.
- 2) 佐藤晃三ら 1980. 河川水温の予測. 水温の研究 24(3):5182-5190.
- 3) 中川行夫 1960. 漏水田の水温. 農業及び園芸 35(1):61-62.
- 4) 三原義秋 1956. 水田における水温上昇の理論と実際. 農業及び園芸 31(5):17-20.
- 5) 松島省三ら 1964. 稲作には気温と水温のいずれが大切か. 農業及び園芸 39(6):16-20.
- 6) 岡田益美 1985. 湿度及び関係諸量の計算法. 農業気象 40(4):407-409
- 7) 岩手県農政部 1992. リアルタイムメッシュ気象情報システム利用の手引き.
- 8) 盛岡地方気象台 1995-1996. 岩手県気象月報.
- 9) 日影勝幸ら 1997. メッシュ気象情報を利用した水田水温の推定. 日作東北支部報 40:9-10
- 10) 平成9, 11年度岩手県農業研究センター試験研究成果.
- 11) 平成9～11年岩手県農業研究センター農産部試験成績概要書.
- 12) 平成7～9年農業新技術総合実証拠点試験地成績書.