

3.2 水温

3.2.1 水温の課題と原因

信濃川中流域では、発電取水による流量の減少のため、夏季に水温の著しい上昇が起きているのではないかと懸念されている。この水温上昇は、生物の生息生育に影響を与えているのではないかと懸念されている。

また、現在実施している試験放流は、この影響を緩和する効果があるのか。

西大滝ダムによる減水区間については、水温の著しい上昇は見られない。

宮中ダムによる減水区間については、前後の本川区間に比して、明らかに平均水温が高い。局所的に水温の高い箇所も点在している。

現行の試験放流が宮中ダム減水区間の平均水温を下げる効果は限定的であり、試験放流時においても前後の本川区間に比して平均水温が高い。

なお、高水温の生物環境への影響は、別章にて整理する。

(1) 西大滝ダム減水区間における水温概況

ア 西大滝ダム減水区間の平均水温

信濃川本川は、中流域に設けられたダムにより、上流から「西大滝ダム上流区間」、「西大滝ダム減水区間」、「宮中ダム減水区間」、「魚野川合流点下流区間」の4区間に区分することができる。

信濃川中流域における、平成18年夏季の水温の縦断変化を図3.2-1に示す。

西大滝ダム上流では平均24.6℃、最高で27.1℃であった水温は、西大滝ダム減水区間では、平均23.6℃、最高で29.7℃とほぼ同程度であり、大きな水温上昇はみられない。また、区間途中で流入してくる支川水温が本川よりも2~5℃程度低いこともあり、水温上昇が抑えられていると考えられる。

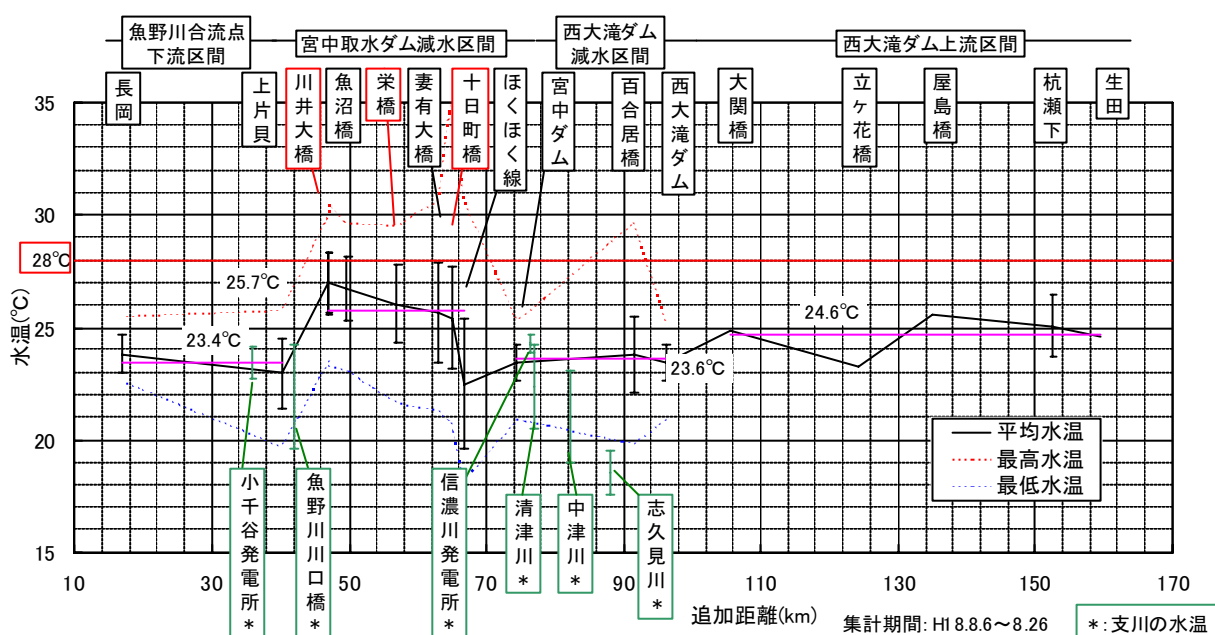


図 3.2-1 信濃川本川における平均水温の縦断変化（平成18年8月）

イ 西大滝ダム減水区間における河川表層水温分布

信濃川中流域を対象としたリモートセンシング画像による河川表層水温分布調査を平成18年8月8日に実施した。この調査は、信濃川上空を機上から赤外線カメラで撮影し、表層水温分布を画像として捉えるものである。後述する直接水温測定結果と比較すると、実際の表層水温との誤差は1℃程度と考えられる。

図3.2-2に示すとおり、西大滝ダム直下では放流水温が28℃程度と高いが、流下につれて水温が20～22℃程度にまで低下している。**エラー! 参照元が見つかりません。**は西大滝ダムより7k程下流の百合居橋付近の水温分布であるが、ここでも水温は20～22℃程度である。に示すとおり宮中ダム上流においても水温は20～22℃程度と、西大滝ダム減水区間では水温の上昇はあまりみられない。

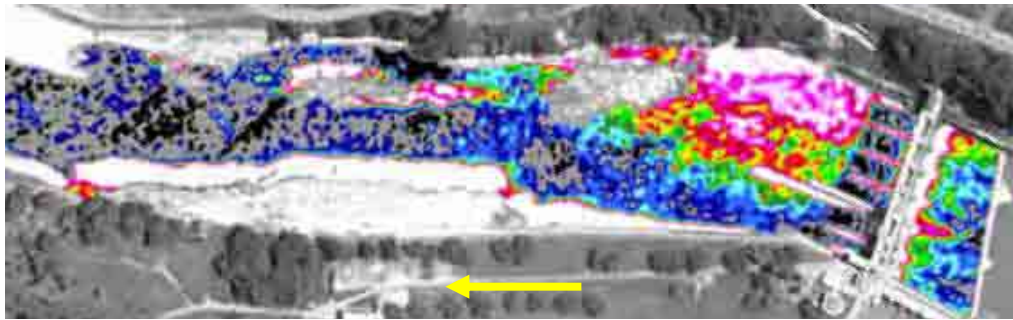


図 3.2-2 西大滝ダム付近の水温平面分布 (H18.8.8)

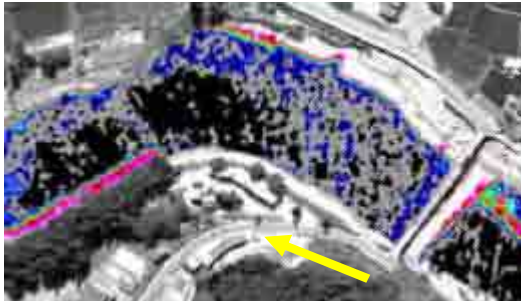
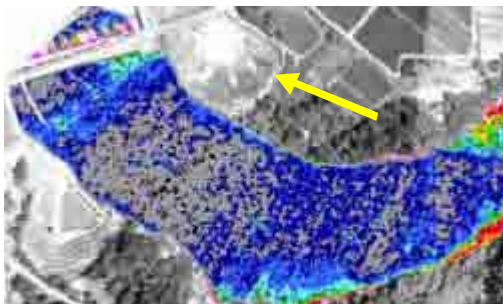


図 3.2-3 百合居橋の水温平面分布 (H18.8.8)



※水温分布図における河岸の白色部分は主に砂州であり、流路部ではない

図 3.2-4 宮中ダム上流の水温平面分布 (H18.8.8)



(2) 宮中ダム減水区間における水温概況

ア 宮中ダム減水区間の平均水温

対象区間における、平成 18 年夏季の水温の縦断変化を図 3.2-5 に示す。特に高温となっているのは、宮中ダム減水区間に該当する十日町橋～川井大橋の区間であり、平均 25.7℃、最高で 35.6℃程度まで水温が上昇していることが確認された。前後の本川区間における平均水温は 23.4～23.6℃程度であり、宮中ダム減水区間では明らかに平均水温が高くなっている。

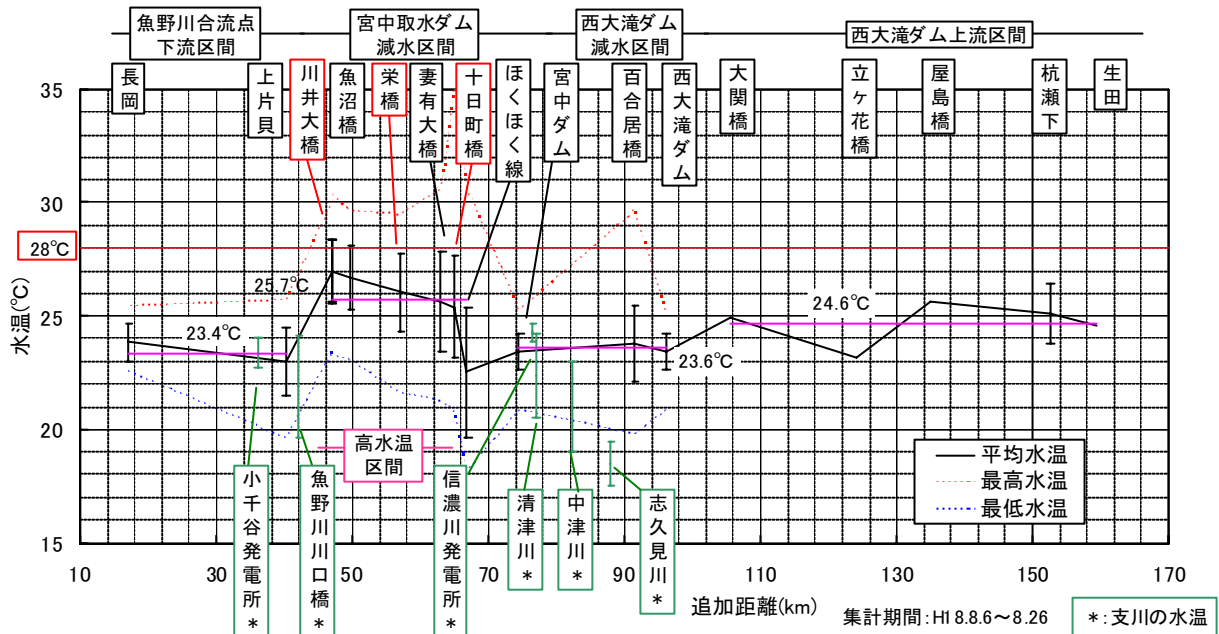


図 3.2-5 信濃川本川における平均水温の縦断変化 (平成 18 年 8 月)

イ 宮中ダム減水区間における河川表層水温分布

リモートセンシング画像による河川表層水温分布調査結果によれば、十日町橋、栄橋周辺における水温は、図 3.2-6 図 3.2-7 に示すとおり流心で 25～26℃程度であり、一部では 28℃以上となる地点もみられた。図 3.2-8 に示す川井大橋下流では、中州より上流での表層水温は 25～26℃程度であったが、それより下流では 26～27℃程度に上昇し、低水路全体が高水温区間となっていた。

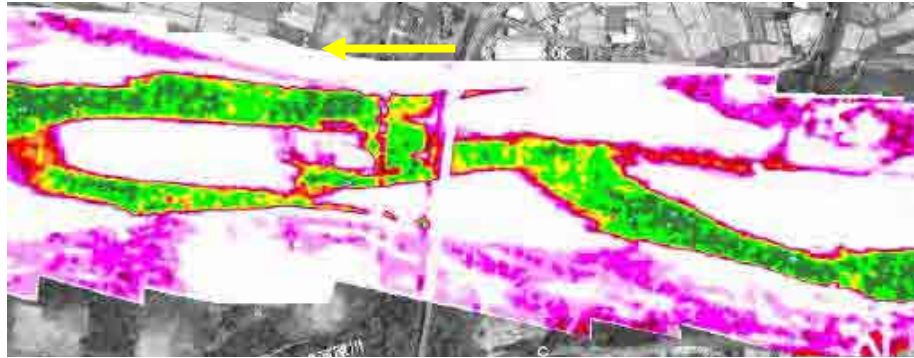


図 3.2-6 十日町橋付近の水温平面分布 (H18.8.8)

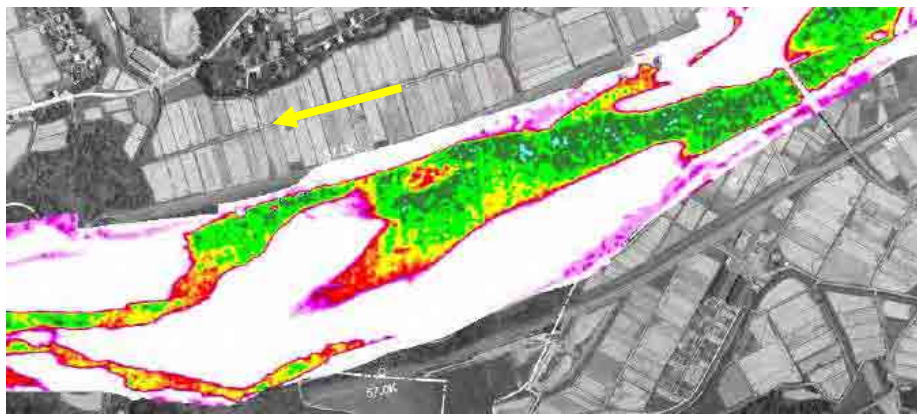


図 3.2-7 栄橋付近の水温平面分布 (H18.8.8)

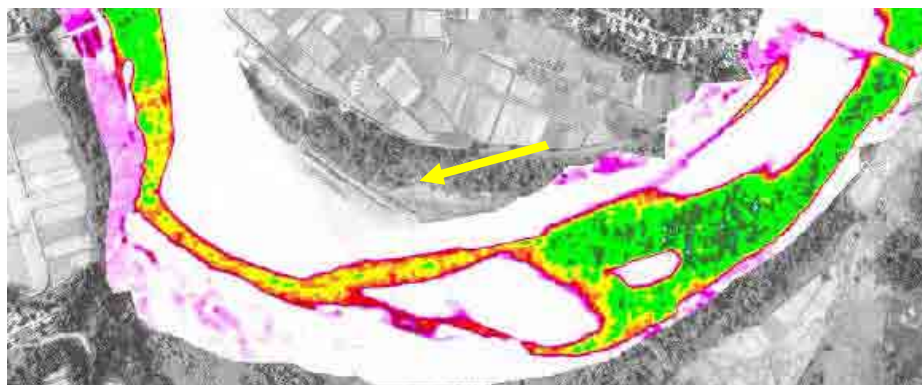
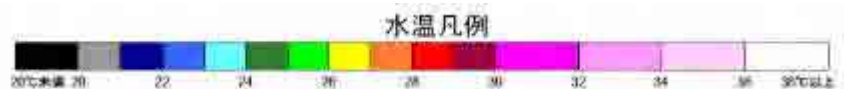
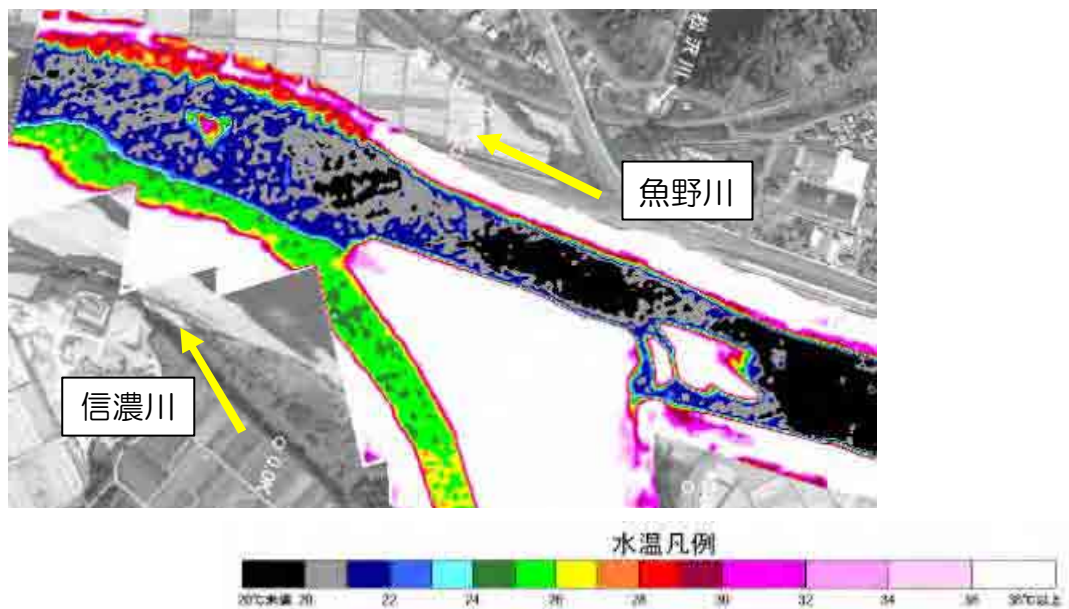


図 3.2-8 川井大橋付近の水温平面分布 (H18.8.8)



※水温分布図における河岸の白色部分は主に砂州であり、流路部ではない

一方、魚野川の水温は 20~22℃と低いため、信濃川本川との合流点付近では水温差が明確に現れていた。また、図 3.2-5 に示したとおり、魚野川合流点下流の本川区間の水温は平均 23.4℃と、宮中ダム減水区間以外の区間の平均水温と同程度にまで下がっていた。



※水温分布図における河岸の白色部分は主に砂州であり、流路部ではない

図 3.2-9 魚野川合流点付近の水温平面分布

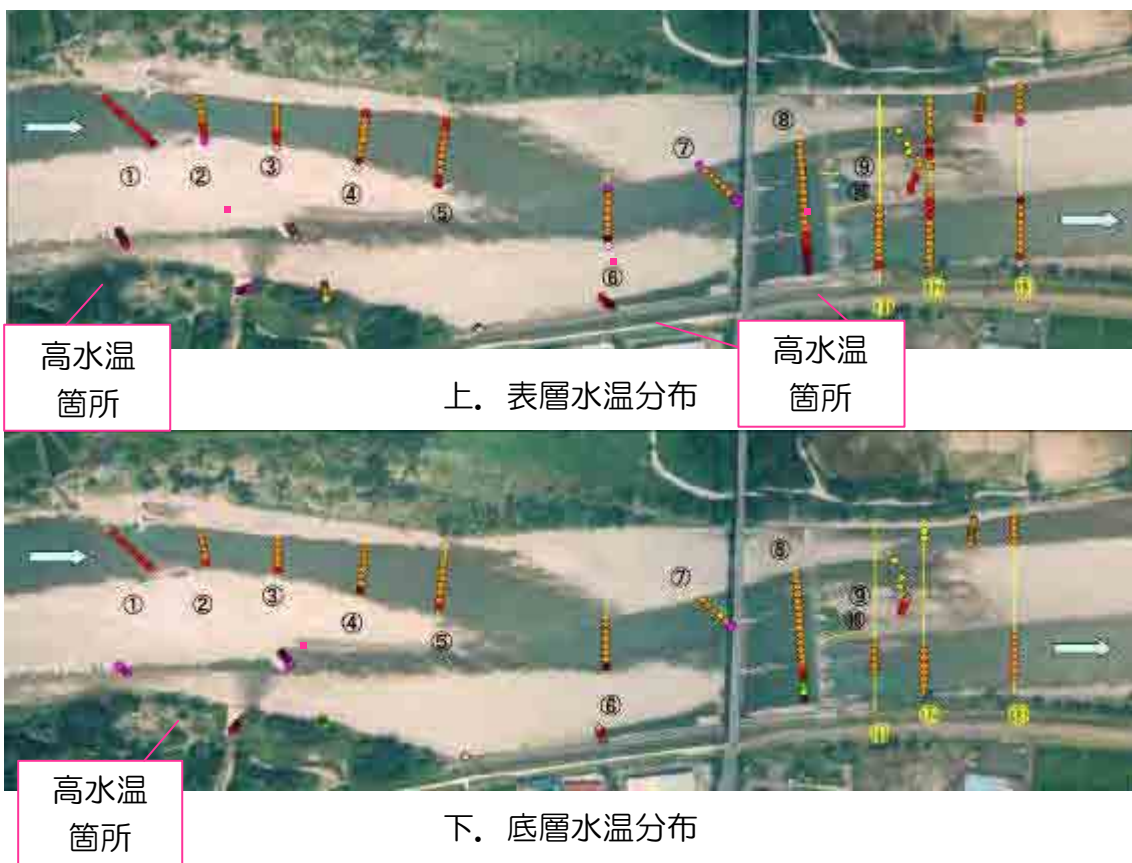
ウ 宮中ダム減水区間における水温平面および鉛直分布

前節までの検討より、特に高水温域が確認された宮中ダム減水区間について、詳細な水温分布状況を把握するため、表層および底層水温の直接測定を行った。なお、本調査はリモートセンシング画像撮影日およびその翌日に実施したものである。

この調査結果から、十日町橋、川井大橋付近では、表層のみならず底層まで28～29度と低水路全体で高温となっている水路断面があることが確認された。以下に、3箇所調査地点ごとに調査結果を示す。

(a) 十日町橋

表層、底層とも流心部では27～28℃程度となっており、水深方向の水温の違いはほとんど確認されなかった。水際部や右岸からの支川等については30℃近くまで水温が上がる箇所も確認された。



凡例					
○	36℃以上	●	28-29℃	○	23-24℃
○	34-36℃	●	27-28℃	○	22-23℃
○	32-34℃	●	26-27℃	○	21-22℃
○	30-32℃	●	25-26℃	○	20-21℃
○	29-30℃	●	24-25℃	○	20℃以下

図 3.2-10 十日町橋水温分布図（測定日：H18.8.9）

(b) 栄橋

栄橋では区間上流部の瀬や流心部において 24～26℃と比較的低水温となっていたが、水際付近やワンド部分では高水温箇所が確認された。左岸ワンド部では表層水温は 29～30℃程度であったが、底層では 20℃以下と局所的に低水温となっていた。



上. 表層水温分布



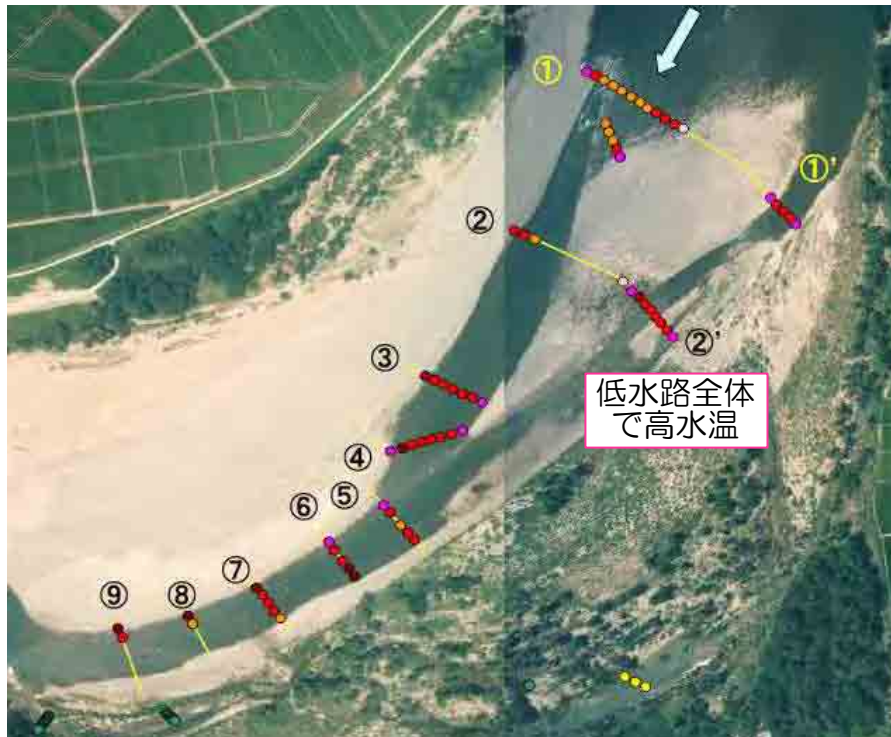
下. 底層水温分布

凡例					
○	36℃以上	●	28-29℃	○	23-24℃
○	34-36℃	●	27-28℃	○	22-23℃
○	32-34℃	●	26-27℃	○	21-22℃
○	30-32℃	●	25-26℃	○	20-21℃
○	29-30℃	●	24-25℃	○	20℃以下

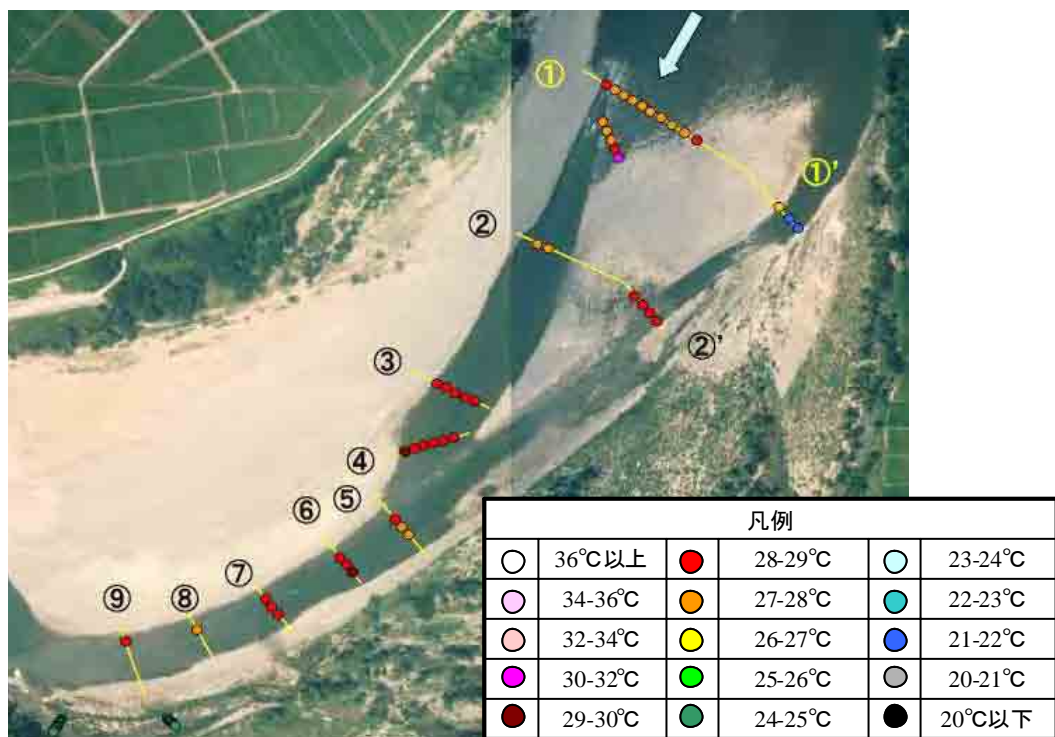
図 3.2-11 栄橋下流水温分布表 (H18.8.8)

(c) 川井大橋

流心部においても表層・底層とも 28~29℃と、低水路全体で高水温となっていた。



上. 表層水温分布



下. 底層水温分布

図 3.2-12 川井大橋水温分布図

(3) 試験放流の効果

ア 現在実施されている試験放流パターン

平成 13 年より、西大滝ダム、宮中ダムにおいて、水環境改善のため放流量を増加させる試みが実施されている。放流量は図 2-8に示すとおり、夏季の高水温や魚類の生活史を考慮し、時期ごとに設定されている。

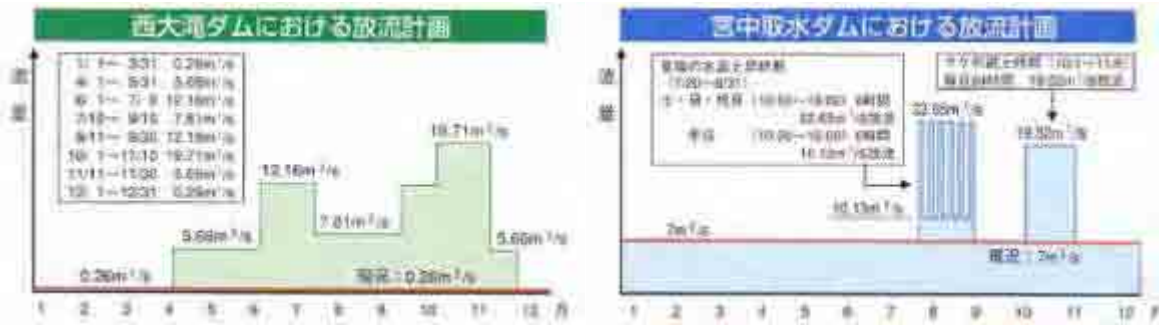


図 3.2-13 西大滝ダム、宮中ダムにおける試験放流量

イ 試験放流実施前の水温概況

平成 12 年度以前は、西大滝ダム、宮中ダムともに維持流量のみの放流を行っていた（西大滝ダム 0.26m³/s、宮中ダム 7 m³/s）。このときの対象区間における夏季の水温の縦断変化を図 3.2-14 に示す。

宮中ダム減水区間である十日町橋から川井大橋にかけては平均水温が 26.1℃、最高水温は 31.2℃と高水温となっていた。西大滝ダム減水区間における平均水温は 23.3℃、最高水温は 26.4℃程度と顕著な水温上昇は認められない。

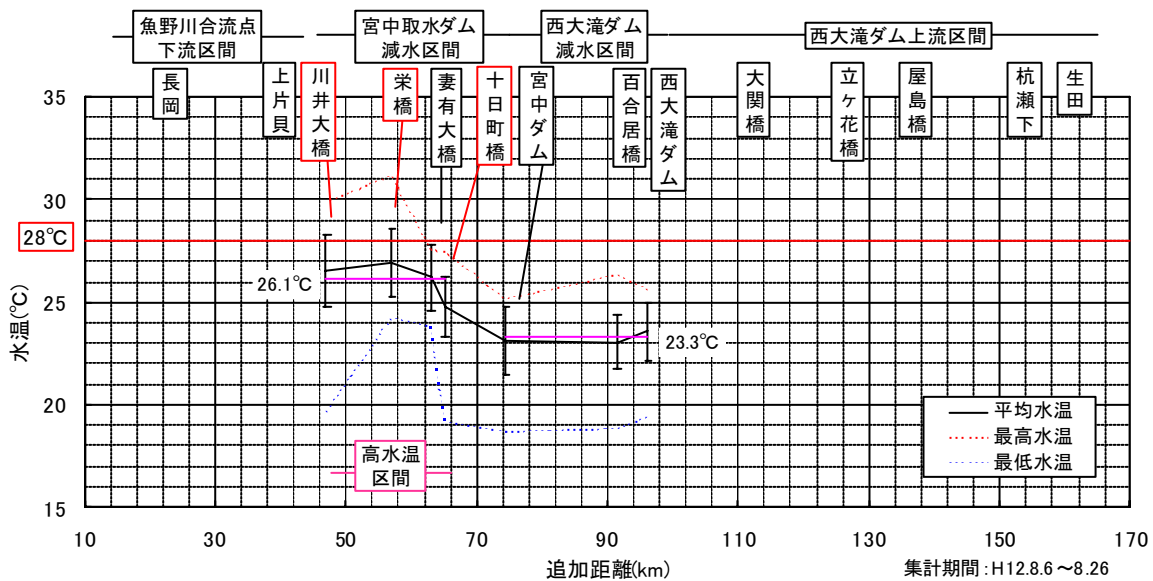


図 3.2-14 試験放流実施前の水温の縦断変化（平成 12 年 8 月、減水あり）

ウ 試験放流実施後の水温概況

対象区間における、平成 18 年夏季の水温の縦断変化を図 3.2-15 に示す。特に高温となっているのは、宮中ダム減水区間に該当する十日町橋～上片貝の区間であり、試験放流実施前と比較すると、区間平均水温で 0.4℃、最大で 0.7℃程度水温が低下しており、ある程度の効果は認められる。しかし、宮中ダム減水区間の水温は平均 25.7℃、最高 35.6℃と高く、前後の本川区間と比較すると高水温であることに変わりはない。

一方、西大滝ダムの減水区間においては、試験放流実施後も試験放流実施前と同様、大きな水温上昇は確認されていない。

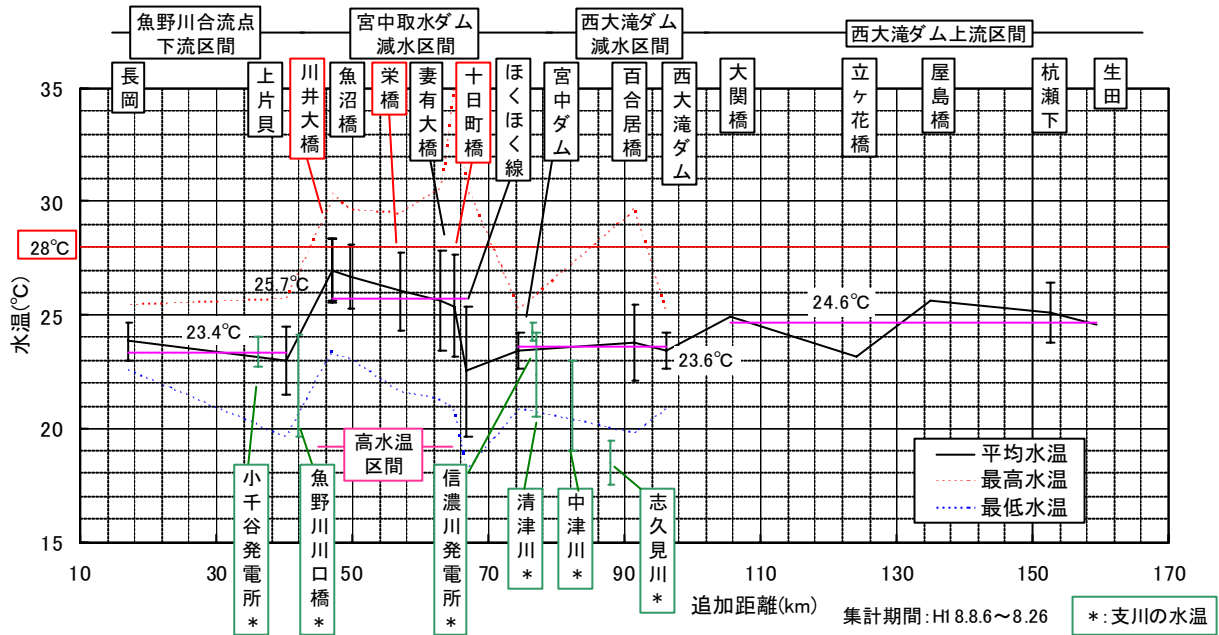


図 3.2-15 試験放流実施後の水温の縦断変化（平成 18 年 8 月、減水あり）

(4) 水温上昇の原因

図 3.2-16 に、平成 17 年における水温の縦断分布を示す。平成 17 年の夏季は、平成 16 年 10 月に発生した中越地震により取水施設が影響を受けたため、減水していない状況にあった。

試験放流下においても平成 18 年に著しい水温上昇の見られた宮中ダム減水区間（十日町橋～上片貝の区間）では、大きな水温上昇は見られず、当該区間の水温上昇が減水に起因するものと考えられた。また、非減水時においても信濃川本川の水温は平均 22.5℃、最高で 28.2℃程度と、支川の水温より 2～4℃程度高いことが明らかとなった。

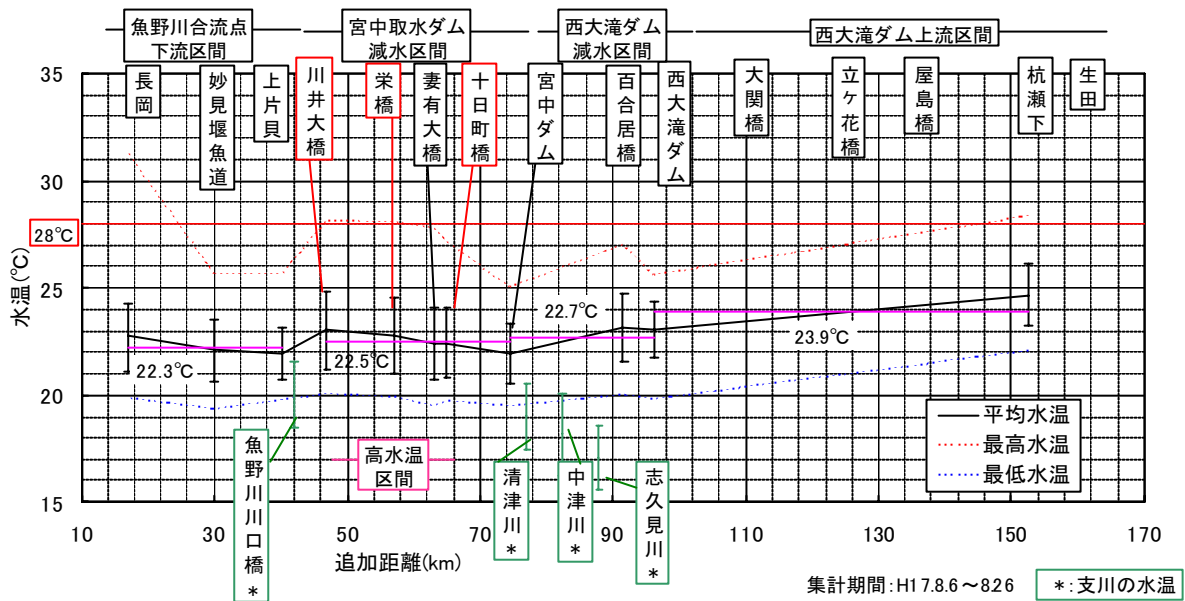


図 3.2-16 非減水時における水温の縦断変化（平成 17 年 8 月）

3.2.2 課題改善の検討と結果

現在実施している試験放流下では、宮中ダム減水区間の夏季の平均水温および最高水温は依然高いままであり、効果は限定的である。放流パターンを変更した場合、高水温の影響は緩和されるのか。

また、宮中ダム減水区間において最高水温を 28℃以下とするためには、どのような放流を行うべきか。

一時的に流量を増加させるフラッシュ放流では、水温低下効果は若干確認されるが下流ほど効果は小さく、全区間で効果を発揮することは困難である。

下流では放流水の到達が遅れるため、夜間に水温ピークが現れるという悪影響も確認された。

宮中ダム減水区間の全区間において最高水温を 28℃以下とするためには、30～50 m³/s 程度を一定放流する必要があると推定された。

(1) フラッシュ放流による水温低下効果の検証

ア 調査内容

平成 16 年度に宮中ダム減水区間において、夏季試験放流水の到達時間の把握、到達時の流況変化を把握するため、水位および流速の現地観測が行われた。調査は、宮中取水ダムの土日の夏季試験放流に合わせて実施し、22.65 m³/s 放流時（放流時間：6hr）に 2 回、41.42 m³/s 放流時（放流時間：4hr）に 2 回の計 4 回の試験放流についてデータを取得した。なお、水温は定期水温調査で設置している水温ロガーにより取得したデータを使用している。

(a) 観測方法および設置方法

水位計、電磁流速計を河川内に設置し、5 分間隔でデータを記録した。図 3.2-1 に設置状況を示す。

(b) 調査期間および回数

調査は土日の夏季試験放流に合わせて実施し、22.65 m³/s 放流時に 2 回、41.42 m³/s 放流時に 2 回の計 4 回の試験放流について、データを回収することができた。表 3.2-1 にデータの得られた調査期間および回数を示す。

表 3.2-1 調査期間および回数

回数	調査期間	備考
1	H16/8/6（金）～8/9（月）	22.65m ³ /s 放流時
2	H16/8/13（金）～8/16（月）	41.42m ³ /s 放流時
3	H16/8/20（金）～8/23（月）	22.65m ³ /s 放流時
4	H16/8/26（金）～8/30（月）	41.42m ³ /s 放流時 (10.13m ³ /s 放流時)

(c) 調査地点

調査地点は宮中区間の付着藻類調査地点と同地点の宮中ダム直下、十日町橋、栄橋、川井大橋の4地点とした。図 3.2-17 に調査地点図を示す。

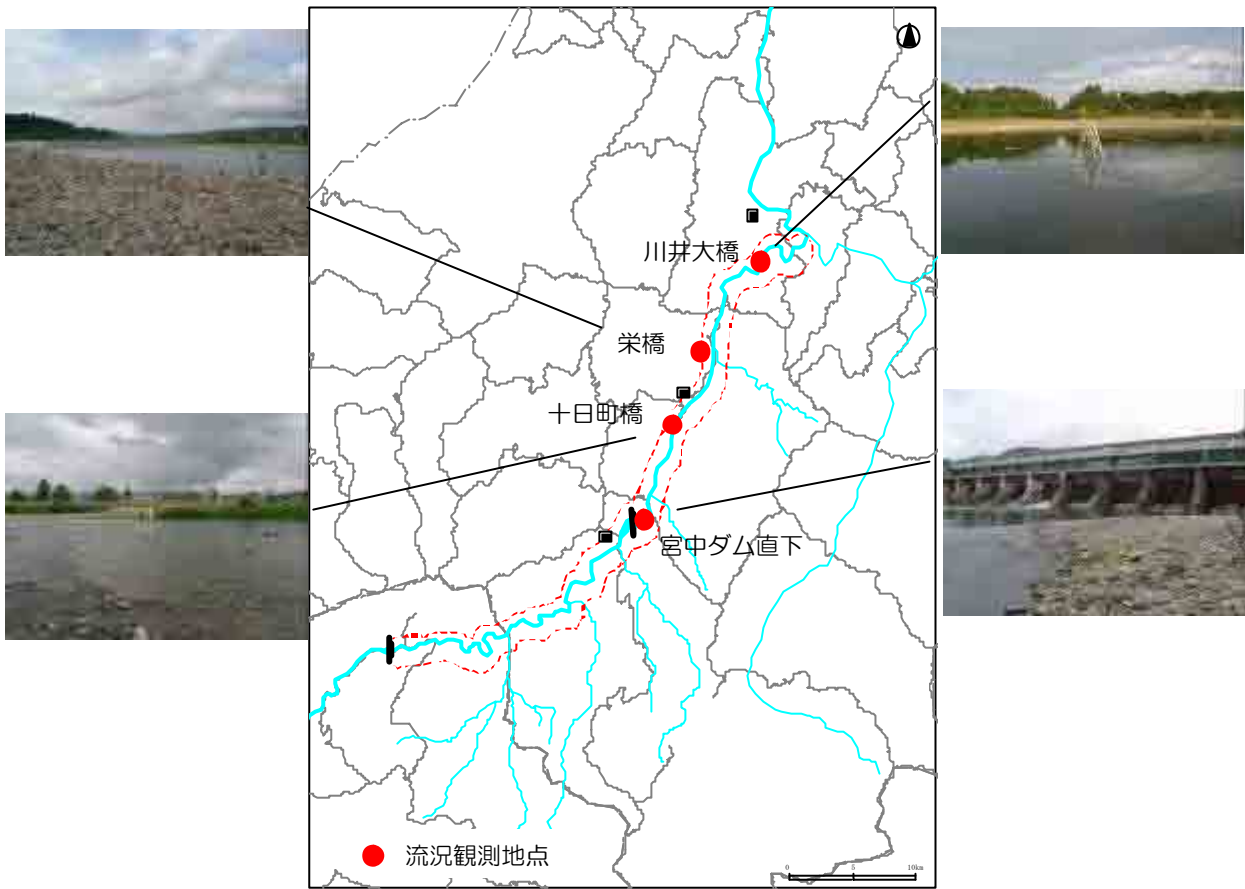


図 3.2-17 流況調査地点図

イ 調査結果

(a) 水位観測結果

宮中ダムより放流された水は、下流に行くにしたがってピークがなだらかとなった。宮中ダムからの放流は $22.65 \text{ m}^3/\text{s}$ 時に 6 時間であったが、川井大橋では水位上昇時間は 16 時間となった。栄橋では川幅が広いため、他地点と比較して水位上昇量が小さくなっている。

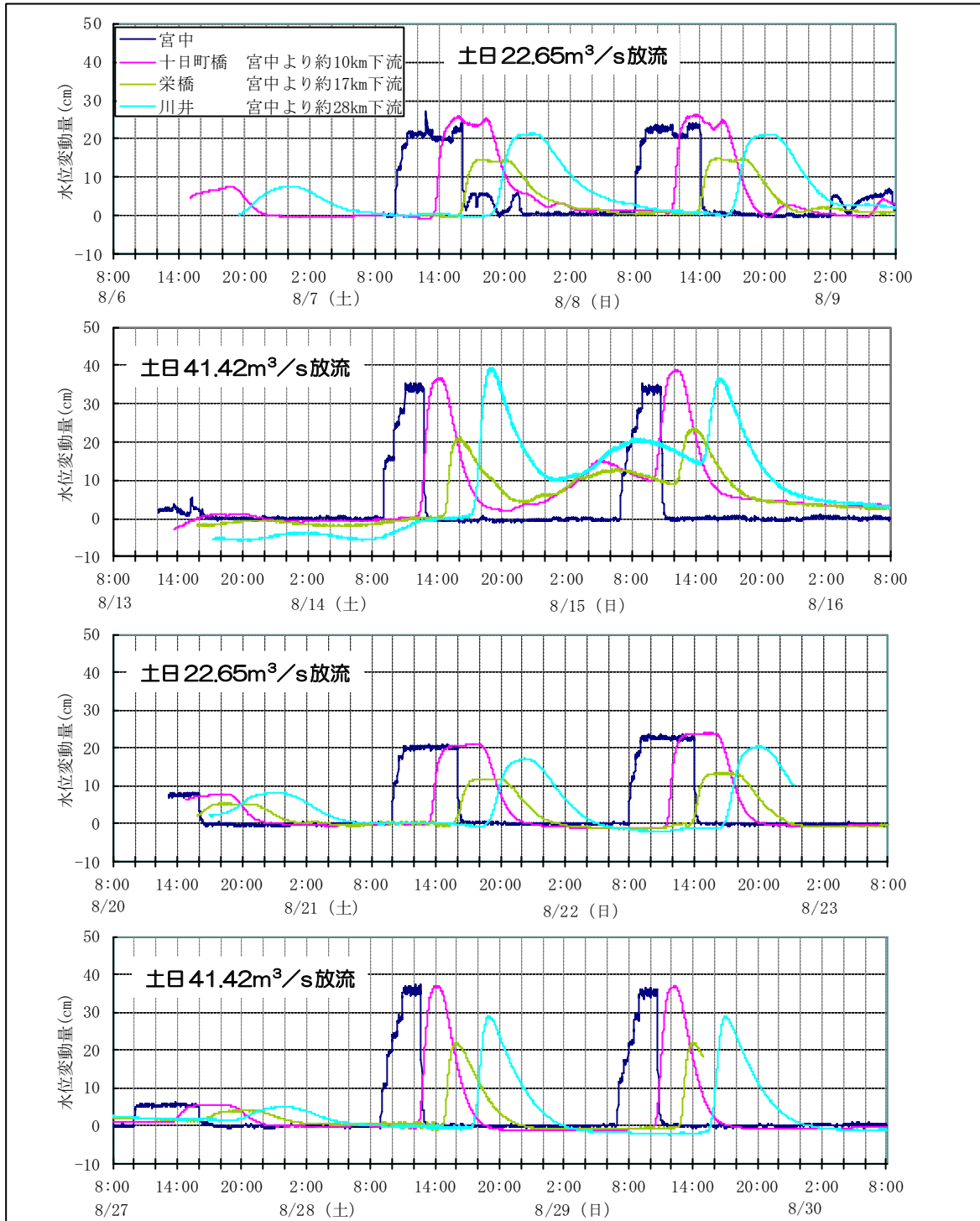


図 3.2-18 試験放流時における水位変動

各試験放流時の水位変動から見た概ねの試験法流水到達時間およびピーク時間を表 3.2-2 に示す。放流水によるピークが川井大橋に達するのは、放流後およそ 8 時間後であり、午前中の放流によるピークは川井大橋には夕方にも到達することとなる。

表 3.2-2 試験放流水のおおよその到達時間

10. 13m ³ /s 放流	平日			
	概ねの到達時間	概ねのピーク時間		
宮中	10:00 (放流開始)	10:00~16:00		
十日町	13:40	15:10~19:20		
栄	16:10	18:40~21:20		
川井	19:40	23:20~0:20		

22. 65m ³ /s 放流	土曜日		日曜日	
	概ねの到達時間	概ねのピーク時間	概ねの到達時間	概ねのピーク時間
宮中	10:00 (放流開始)	10:00~16:00	8:00 (放流開始)	8:00~14:00
十日町	13:20	15:30~18:00	11:20	13:30~16:00
栄	15:30	17:30~19:50	13:30	15:30~17:50
川井	18:40	22:20	16:40	20:20

41. 42m ³ /s 放流	土曜日		日曜日	
	概ねの到達時間	概ねのピーク時間	概ねの到達時間	概ねのピーク時間
宮中	9:00 (放流開始)	9:00~12:42	7:00 (放流開始)	7:00~10:42
十日町	12:20	14:00~14:20	10:20	12:00~12:20
栄	14:20	16:00	12:20	14:00
川井	17:20	19:00	15:20	17:00

(b) 放流量別の水温変化

放流パターンごとの水温の絶対値は比較が難しいため、ここでは水温変化について検討する。図 3.2-19 に放流量別の水温変化のグラフを示す。ここで、水温差とは、毎時の水温より日平均水温を引いたものとする。

7 m³/s 放流時は、維持流量を一定放流させた基本ケースである。この場合、十日町橋、川井大橋での水温差は+3~-3℃の間で推移しているが、栄橋では最高で+3.5℃となった。栄橋では水温ピークが 15 時前後と遅いが、川幅が広く午後もし日射を受け続けるためと考えられる。

10.13 m³/s 放流では、十日町橋および栄橋では 7 m³/s 放流時と同様の結果となる。川井大橋では最高水温が+1.5℃程度に抑えられているが、放流水の到達に伴い、20 時以降に再び水温が上昇している。22.65 m³/s 放流でも、10.13 m³/s 時と比較して水温変化に大きな差は見られない。

41.42 m³/s 放流では、十日町橋、栄橋で水温差の振幅は+2.5~-2.5℃程度の範囲に収まり、最高水温が低く抑えられている。川井大橋では変わらず夜間に水温ピークが生じており、放流により平均水温が逆に上昇する。

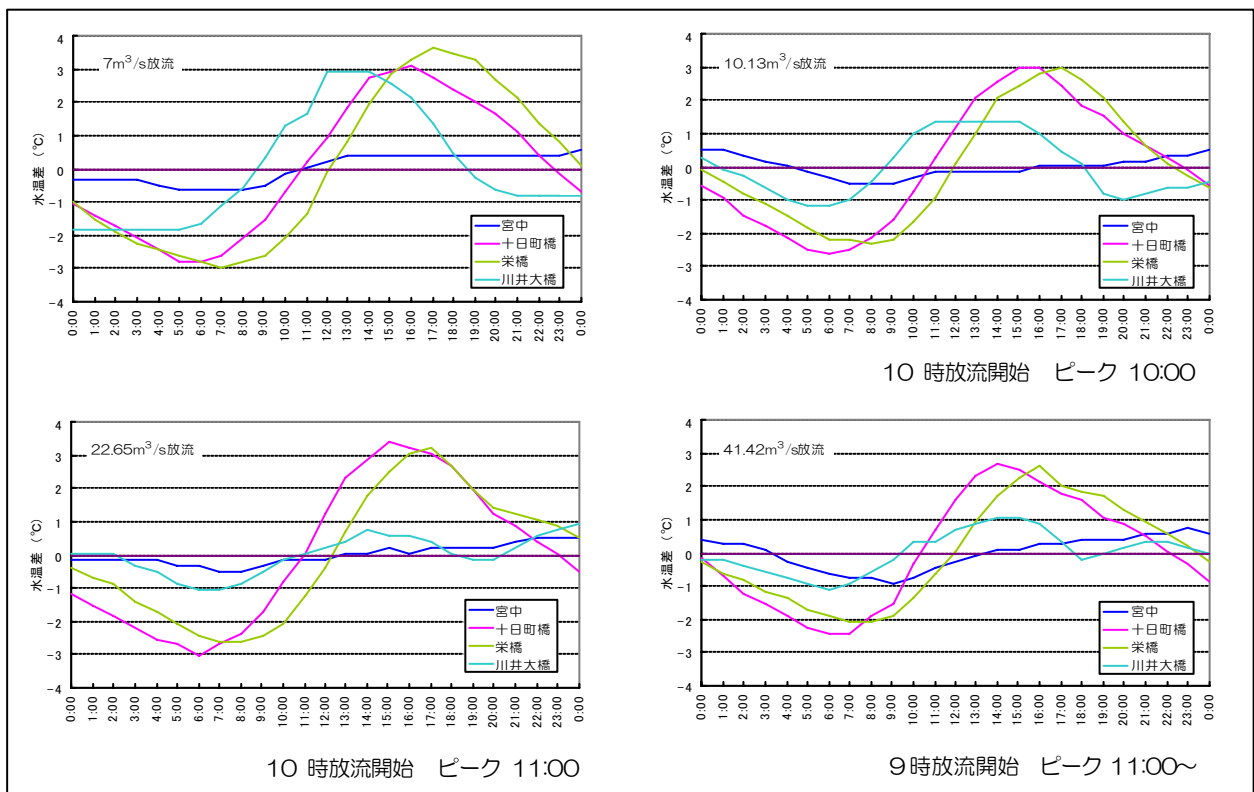


図 3.2-19 流量別の水温変化

(2) 一定放流による水温低下効果の検証

減水区間における最高水温を 28℃以下とするために必要な放流量を検討するため、縦断的な平均水温予測シミュレーションモデルを構築し、流量を変化させた場合の縦断的な水温予測を行った。

また水温平面分布と水理指標（水深、流速）の関係に、3.1 章にて実施した流量増加時の平面的な水深、流速を当てはめることにより、水温の平面分布予測を行った。

ア 平均水温予測シミュレーション

(a) シミュレーション概要

計算対象とする区間（宮中ダム～川井大橋下流）について、距離標を目安として 500[m]ごとに BOX を設定した。この BOX において熱収支および気象条件、流況等の条件より水温予測モデルを構築した。

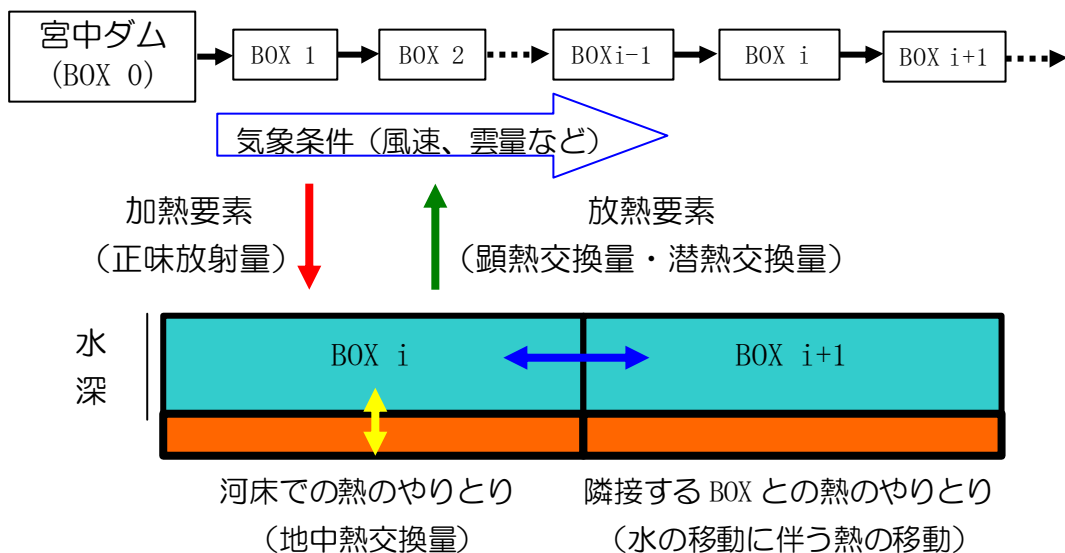


図 3.2-20 水温予測モデルのイメージ

(b) 流量増加時の平均水温予測

前述のモデルにより減水区間の縦断的な平均水温分布を予測した。

この結果、図 3.2-21 に示すとおり、7 m³/s 放流時の水温は栄橋で 31℃に達していたが、全区間で水温 28℃以下となる条件を満足する流量は、30～50 m³/s の放流により全区間で 28℃以下となると推計された。

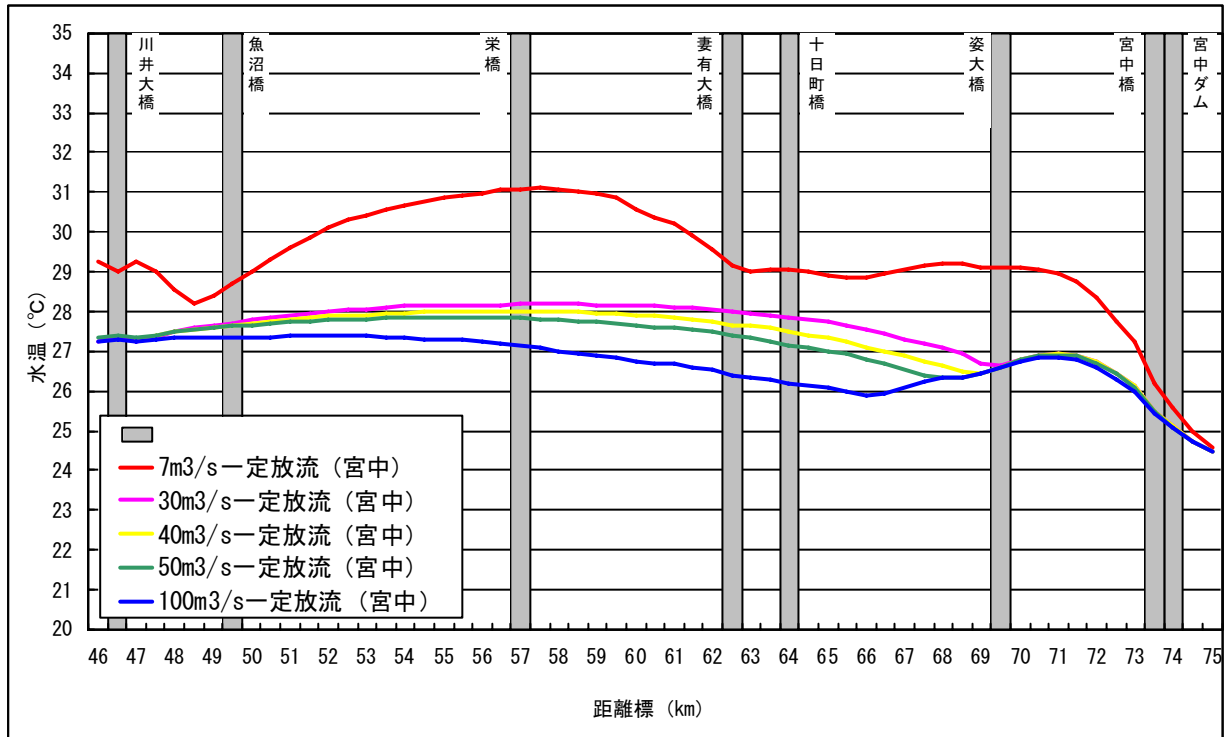


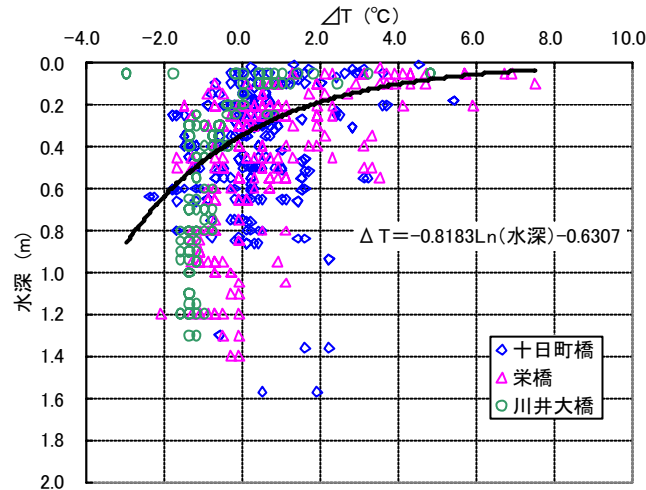
図 3.2-21 水温シミュレーション結果

イ 局所水温シミュレーション

(a) 水温と水理指標（水深、流速）の関係

調査結果から、水温と水深の間に関係があると考えられたため、3つの区間における調査結果を用いて、水温・水深の関係式を作成した。水深・水温の関係を図 3.2-22 に示す。

この水温・水深との関係式に、3.1 章においてシミュレーションにより算出した流量増加時の水深・流速を当てはめることにより、流量増加時における水温を算出した。検討フローを図 3.2-23 に示す。



ΔT：地点水温－調査域で測定された水温の平均

図 3.2-22 水温と水深の関係(3 区間を対象)

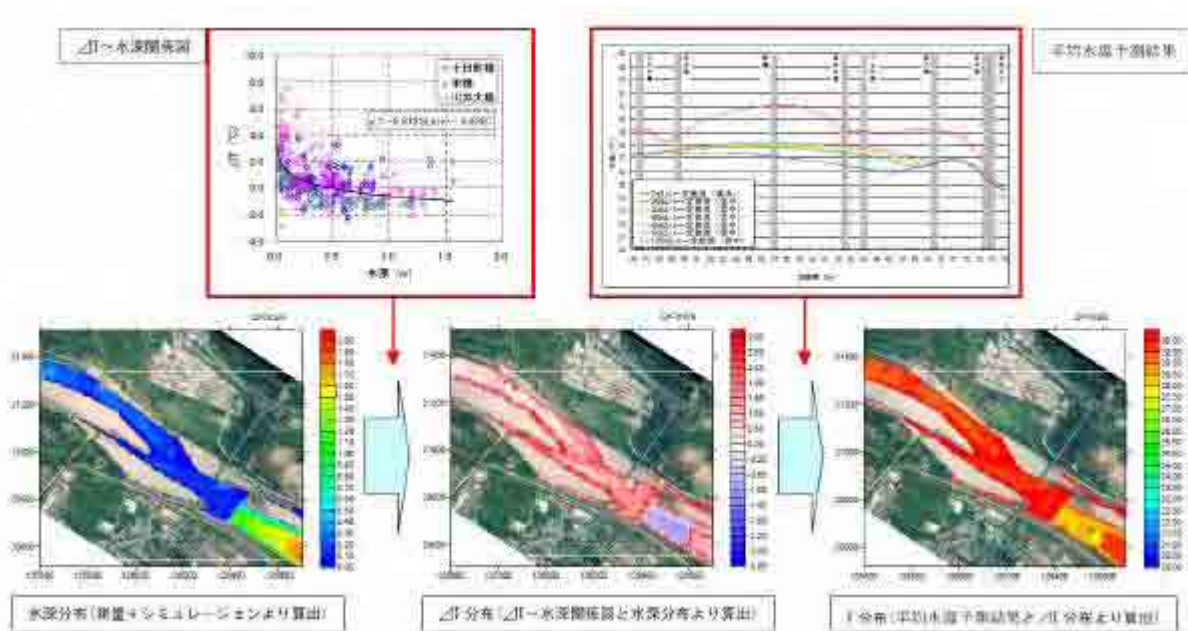


図 3.2-23 局所水温シミュレーション検討のフロー

(b) 放流量増加時における水温の平面分布

現放流量での水温－水深、流速の関係を整理した結果、水温－水深の関係が比較的良好であったことから、シミュレーションにより算出した水深より ΔT 分布を推定し、さらに ΔT 分布に平均水温予測モデルによって求めた平均水温を適用することにより、流量増加時における水温の平面分布を算出した。

この結果、流量が $40 \text{ m}^3/\text{s}$ のとき、 28°C 以下となる領域を縦断的に得ることが可能であった。

1) 十日町橋

図 3.2-24 に十日町橋における試算結果を示す。十日町橋では、 $7 \text{ m}^3/\text{s}$ 時では 28°C を下回る箇所は床固下流の一部のみであった。 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ では縦断的に 28°C 以下となる箇所が連続するとの結果が得られた。 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 時では、ほぼ全域で 26°C を下回る結果となった。

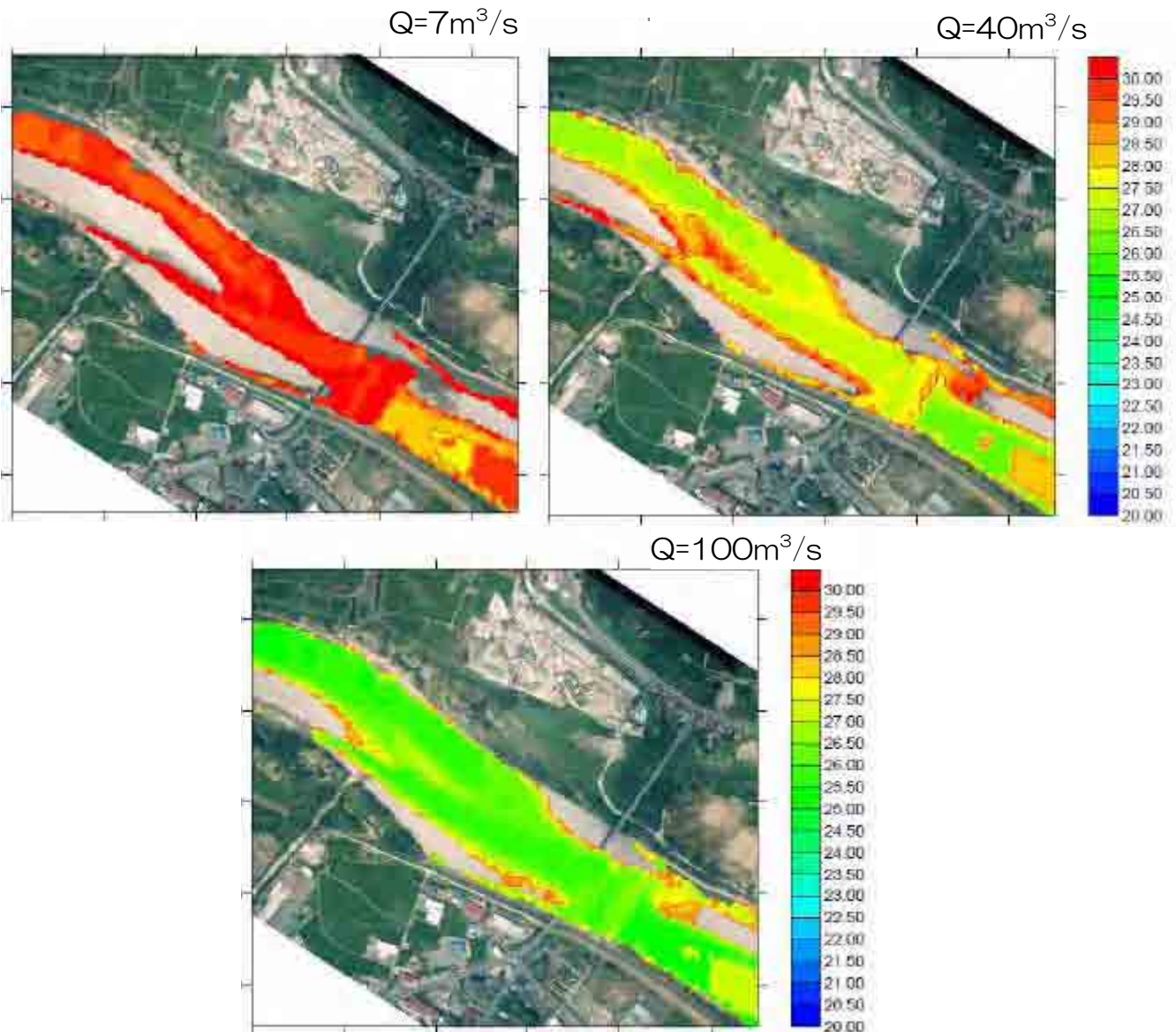


図 3.2-24 十日町橋における水温予測結果

2) 栄橋

栄橋では、 $7 \text{ m}^3/\text{s}$ 時で全域が 30°C 程度の高水温域となった。 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ 時では浅水域で高水温となるものの概ね 28°C 以下となる区間が連続し、 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ では全域で 26°C 程度となった。

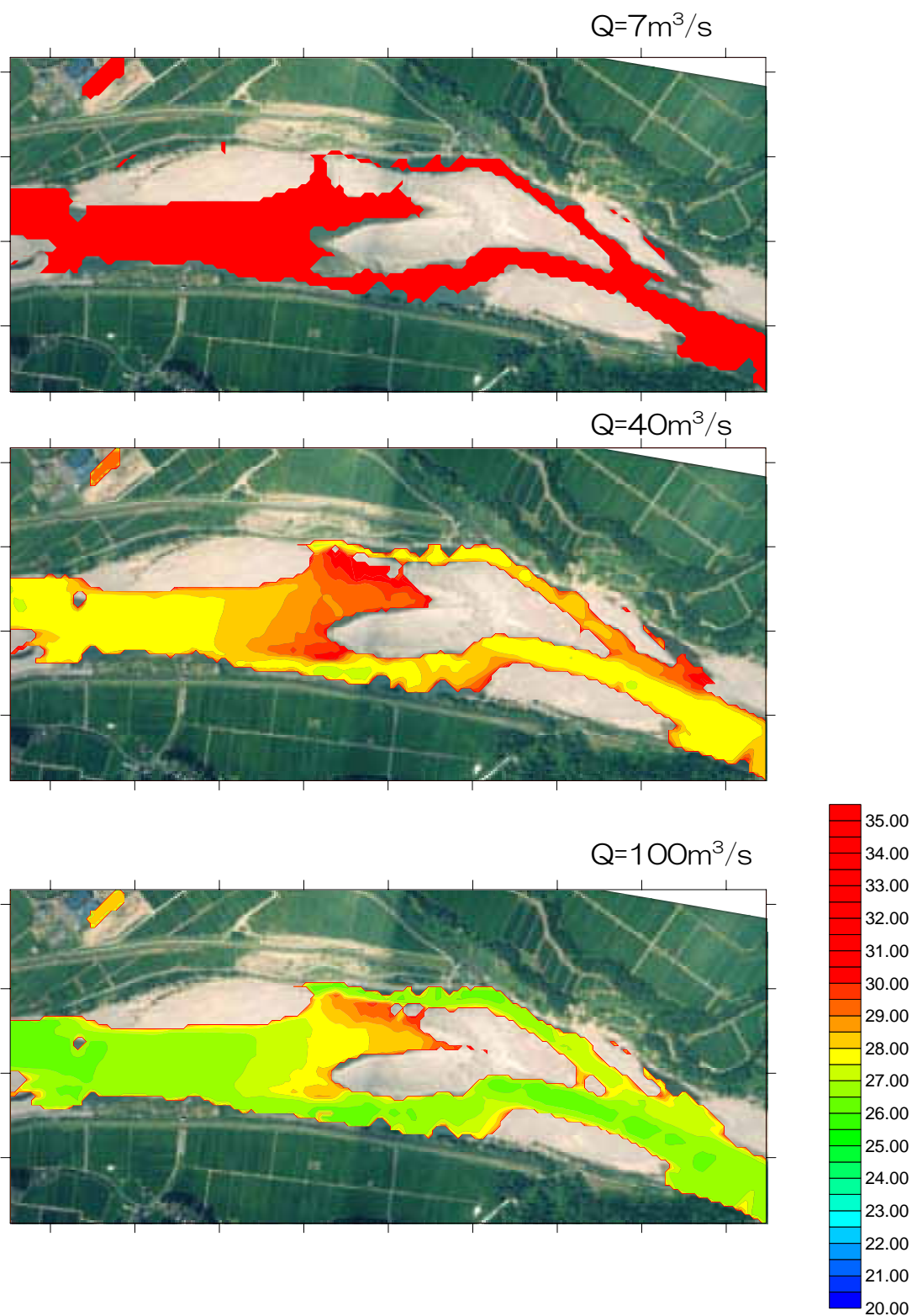


図 3.2-25 栄橋における水温予測結果

3) 川井大橋

川井大橋では、 $7 \text{ m}^3/\text{s}$ 時では $28\sim 29^\circ\text{C}$ 程度の高水温域となったが、 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ 時では流心部分で概ね 28°C 以下となった。 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 時では、水際のごく近くまで水温が低下する結果となった。

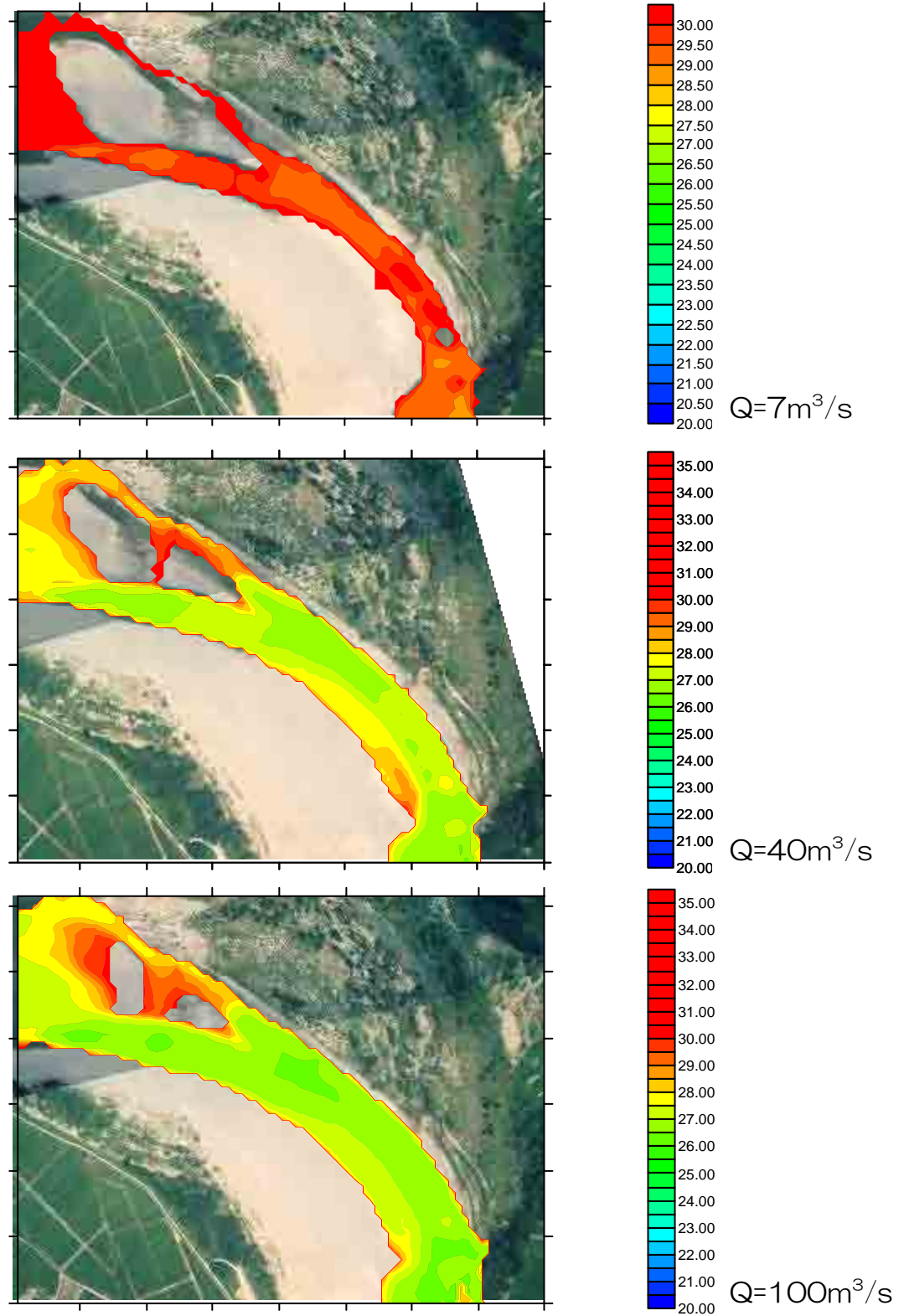


図 3.2-26 川井大橋における水温予測結果

3.2.3 その他明らかになった事項

■河川内における局所的な低水温箇所の存在

高水温区間においても、ワンド底層部や河岸の湧水地点等、河川形態により局所的に低水温となっている地点を確認した。

高水温区間である宮中ダム減水区間においても、ワンド底層部や河岸の湧水地点等、局所的に低水温となっている地点を確認した。これらの地点では、周囲の水温よりも1~2℃程度低くなっているため、区間平均水温が28℃以上となる高水温時において生物の避難場所として機能する可能性がある。

(1) 河川内における局所的な低水温箇所の存在

ワンド部において顕著に低水温箇所が認められた栄橋における水温平面分布を示す。ここで、図中の ΔT は区間平均水温と各測点での水温との差を示す。

また、水温分布調査中に設置していた水温ロガーのデータより、河川形態別の水温の経時変化についても示す。

ア 栄橋における低水温箇所（第1回観測時）

栄橋における区間平均水温からの水温偏差分布（第1回観測時）を図3.2-27に示す。

右岸ワンド部底層や水深のある瀬の流心部表層等において、平均水温よりも2℃程度低温となっている箇所が確認された。

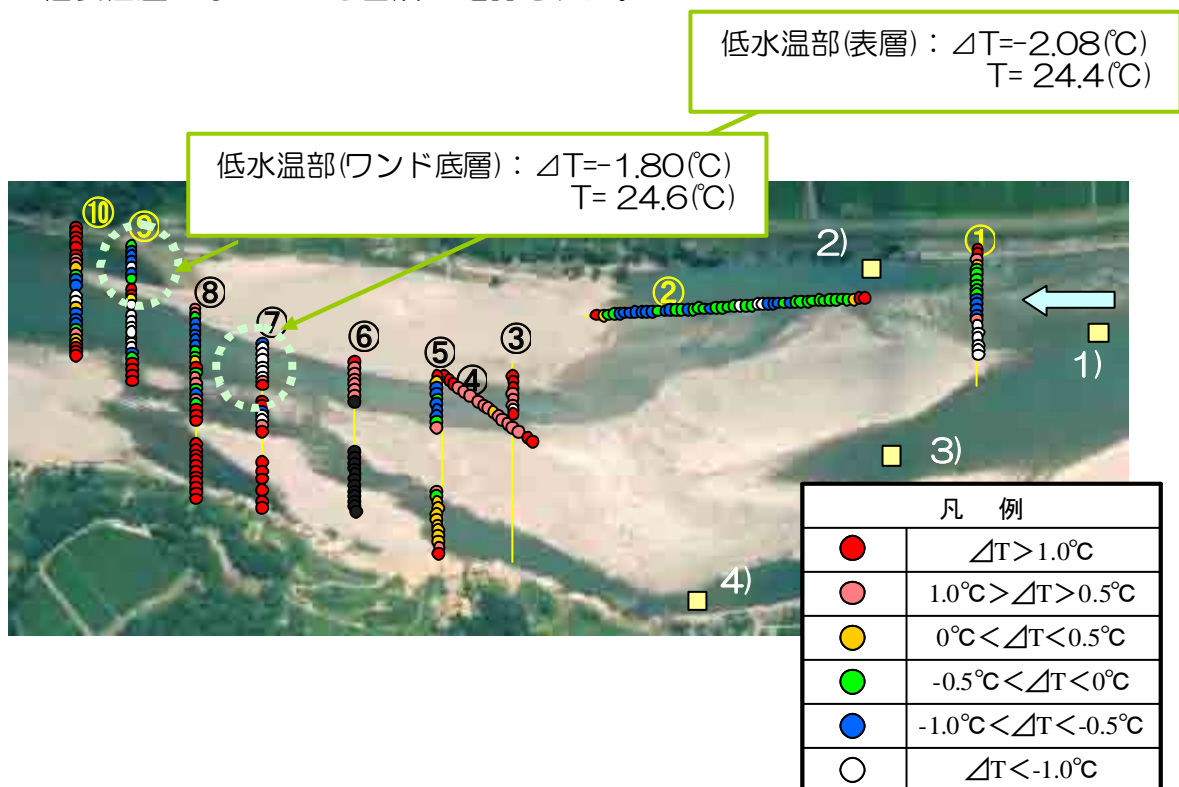


図 3.2-27 栄橋における低水温箇所（H18.8.8：T 平均=26.4℃）

イ 栄橋における低水温箇所（第 2 回観測時）

栄橋における区間平均水温からの水温偏差分布（第 2 回観測時）を図 3.2-28 に示す。

第 1 回観測時と同様、右岸ワンド部底層や、瀬の流心部においても低水温部が確認されたが、特に左岸ワンド底層において、顕著に低水温となっている箇所が確認された。

同時に計測していた水温ロガーによる経時変化をみても、左岸ワンド底層の水温は、他地点と比較して常に 2℃程度低くなっていることが確認された。このような低水温は局所的ではあるものの、生物にとっては高水温時における避難所として機能する可能性がある。

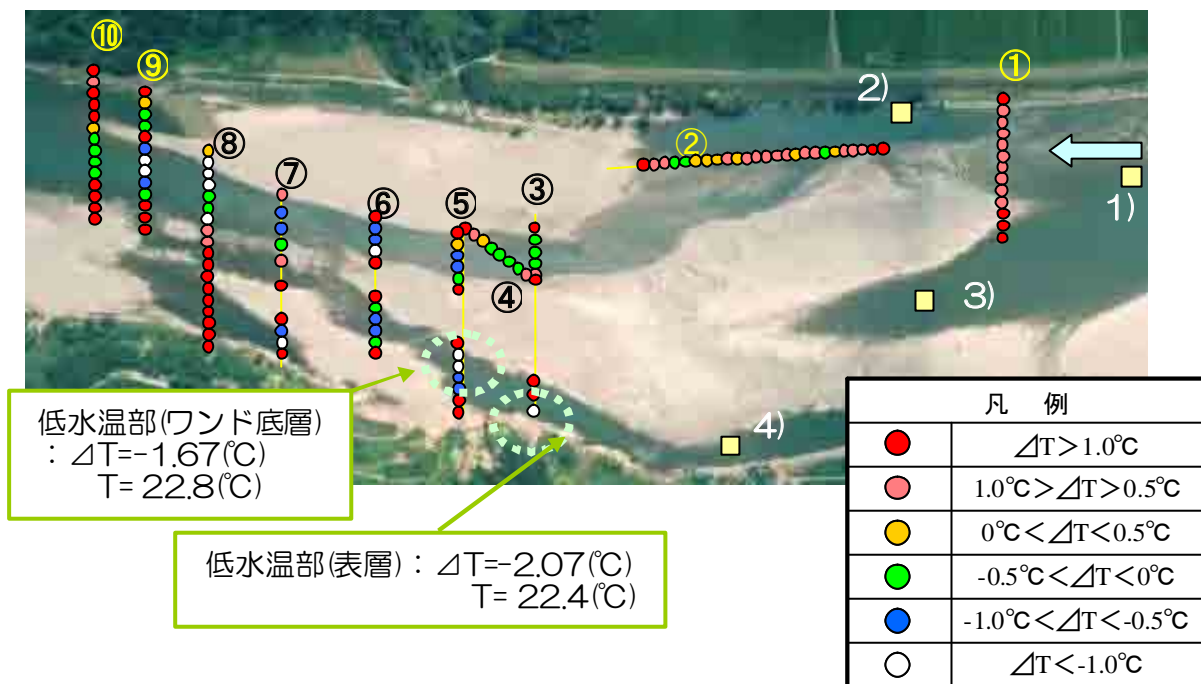


図 3.2-28 栄橋における低水温箇所 (H18.8.24 : T 平均= 24.4°C)

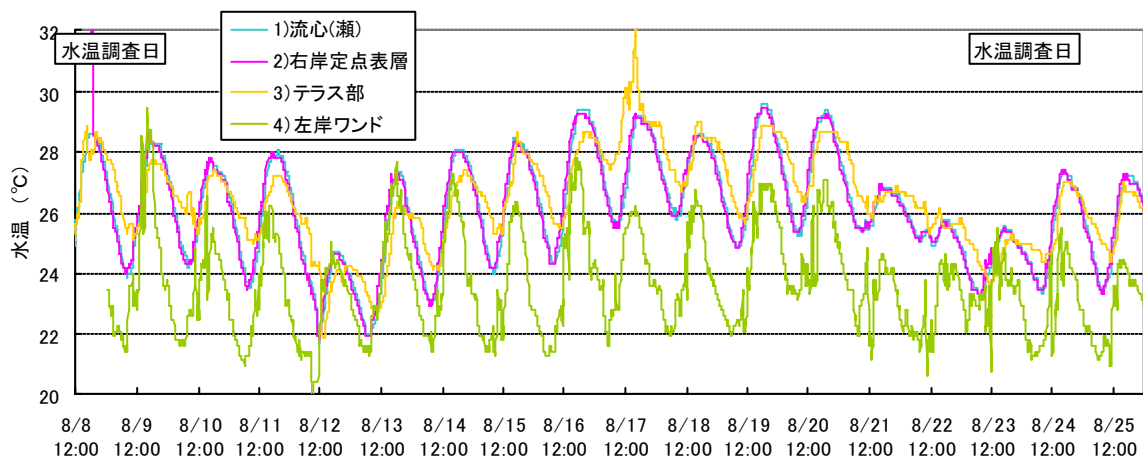


図 3.2-29 栄橋における水温の経時変化 (H18.8.8~25)