

平成 27 年 1 月 23 日

仮称) 宮中取水ダム試験放流検証委員会総括報告書

(素案)

目 次

第 1 章 試験放流の概要

- 1.1 試験放流の考え方
- 1.2 試験放流期間の気象状況
- 1.3 その他特筆すべき事象

第 2 章 信濃川の特徴

- 2.1 環境の観点
- 2.2 河川利用の観点

第 3 章 試験放流の総括

- 3.1 比較的流量との関係が強いと想定される項目……………
 - 3.1.1 河川水質……………
 - 3.1.2 河川水温……………
 - 3.1.3 河川形態……………
 - 3.1.4 河川景観……………
- 3.2 生物の多様性に係る項目……………
 - 3.2.1 魚類の生息及び遡上・降下……………
 - 3.2.2 付着藻類……………
 - 3.2.3 底生動物……………
- 3.3 河川の親水性
 - 3.3.1 河川利用
- 3.4 その他の項目(変動放流)

第 4 章 今後の信濃川の姿

次回 ご報告します。

次回 ご報告します。

3.1.1 水質

対象区間における水質については、提言では「河川水質と河川流量の間には明確な関係を見出すことができなかった」としている。

5カ年の試験放流期間の水質を流量規模別に整理したが、試験放流期間においても明確な関係は見い出せなかった。

そこで、この原因について考察する。

(1) 河川水質の解析

1) 5カ年の試験放流期間の水質

5カ年の試験放流期間の水質について、河川流量との相関を確認した結果を図3.1.1-1に示す。測定を行った十日町橋及び魚沼橋のいずれの箇所でも、河川水質と河川流量の間には明確な関係を見出すことができなかった。

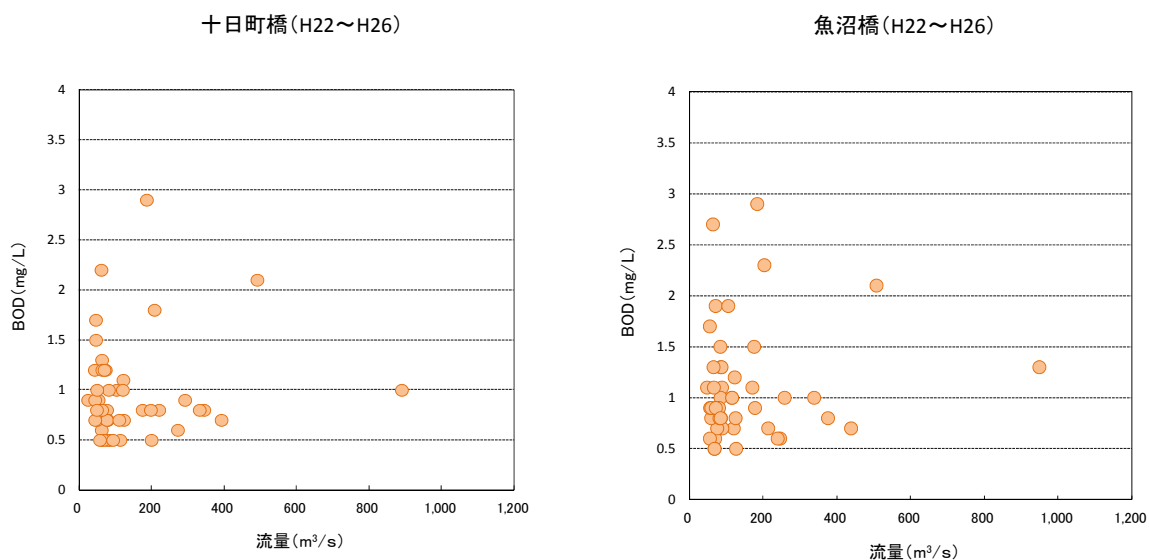


図 3.1.1 試験放流期間の水質と河川流量の関係

2) 対象区間における過去 10 年間の水質変化の特性

平成 25 年から過去 10 年間の信濃川最上流（千曲川）の大芝地点（長野県小海町）から信濃川河口地点（新潟県新潟市）までの BOD 濃度について整理した結果を図 3. 1. 1-1 に示す。

信濃川（千曲川）の水質は、最上流部から長野市付近まで徐々に上昇するが、新潟県に入ると濃度は下がり、対象区間を越えて与板橋までは比較的低濃度で推移する。

対象区間を含む長野県佐久市高瀬橋から河口までは、水質汚濁に係る環境基準の A 類型に指定されている。

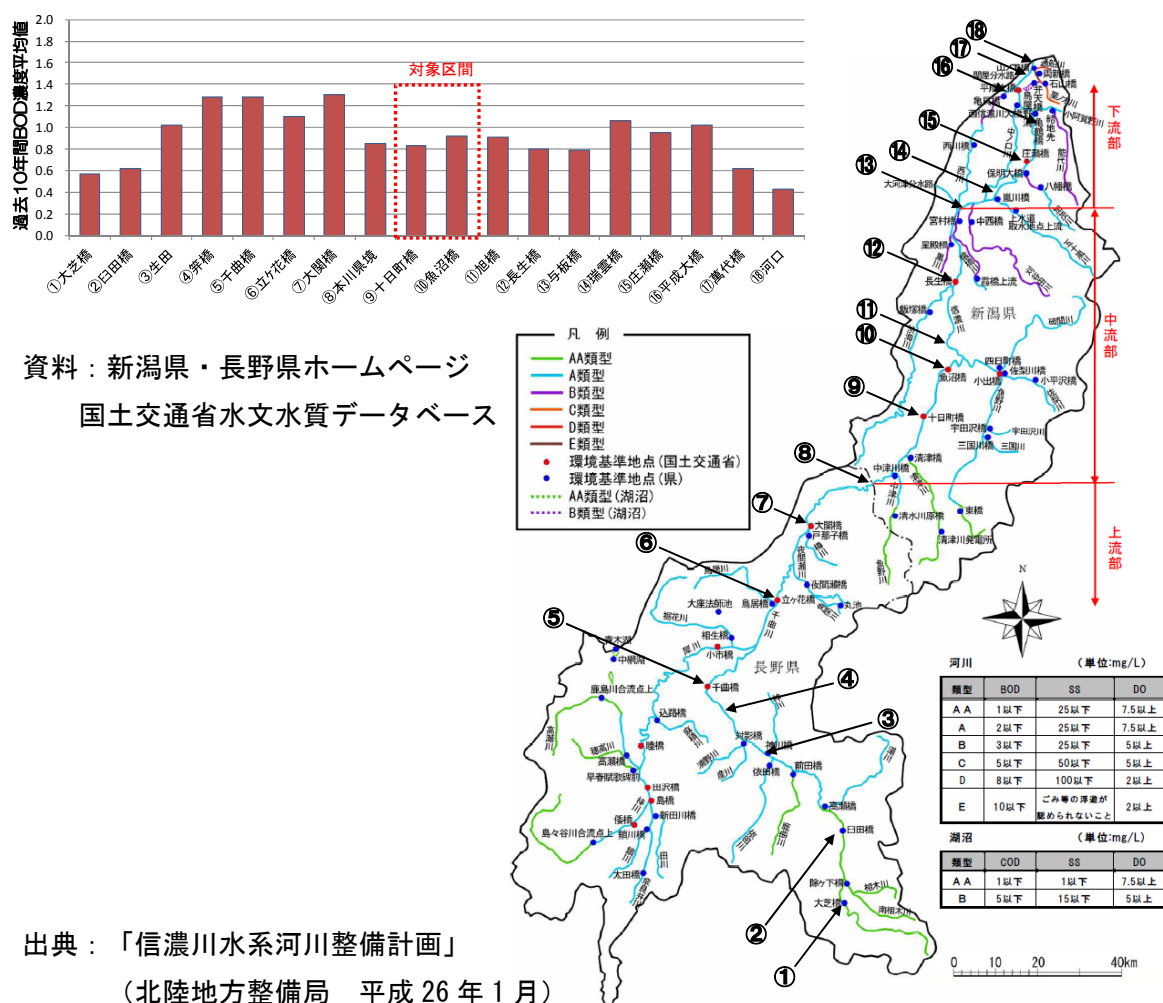
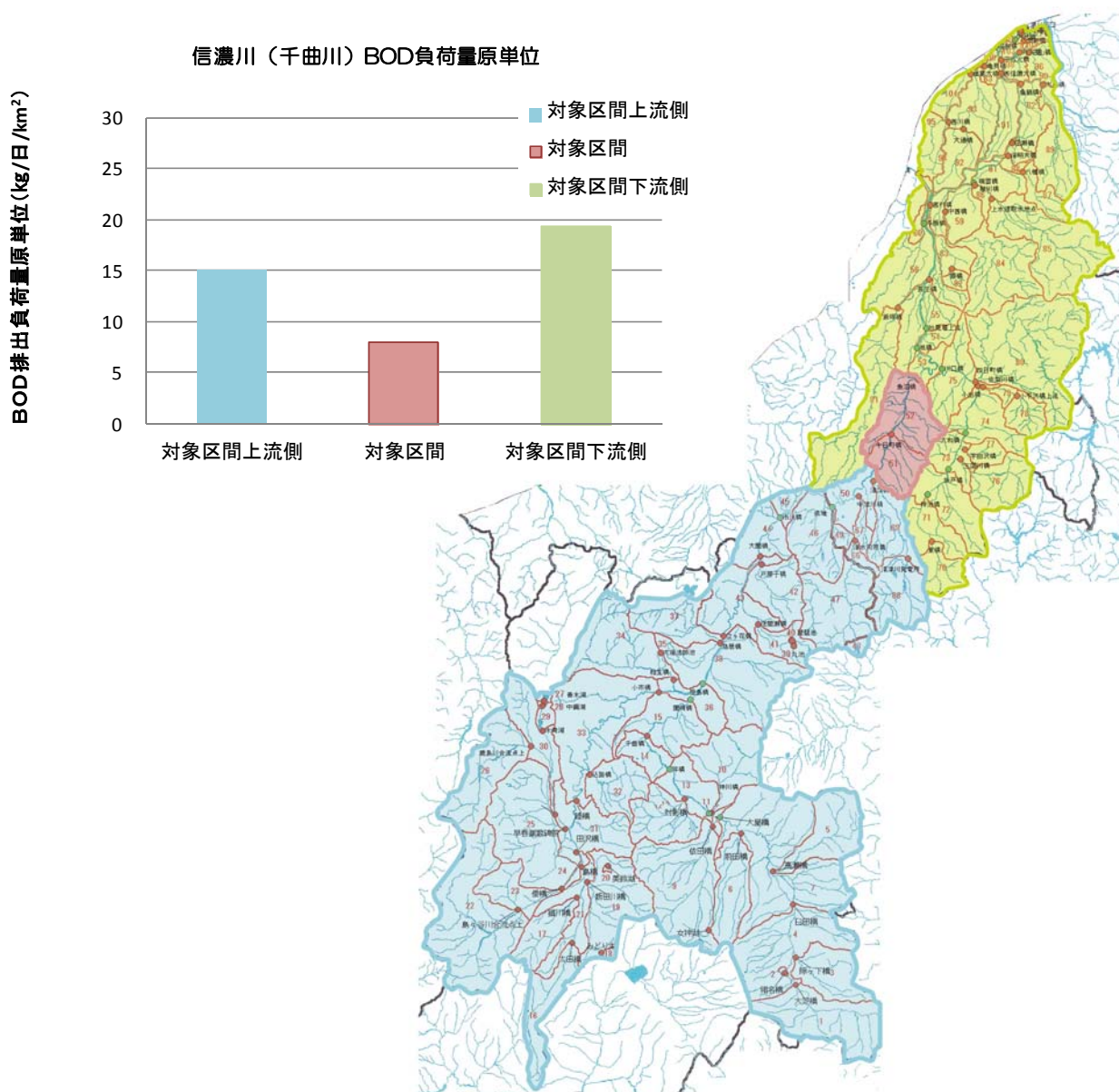


図 3. 1. 1-1 信濃川における縦断的な水質変化 (平成 15 年～平成 25 年)

2) 対象区間の流域の汚濁負荷量

「信濃川流域別下水道整備総合計画」（北陸地方整備局 平成 15 年 9 月）では、平成 30 年度時点の BOD 負荷量を図 3.1.1-2 のとおり算定している。

対象区間の流域からの汚濁負荷量の原単位は、対象区間上・下流側の汚濁負荷量の原単位より小さく、対象区間の流域からの汚濁負荷量が信濃川の水質に与える影響は限定的であると考えられる。



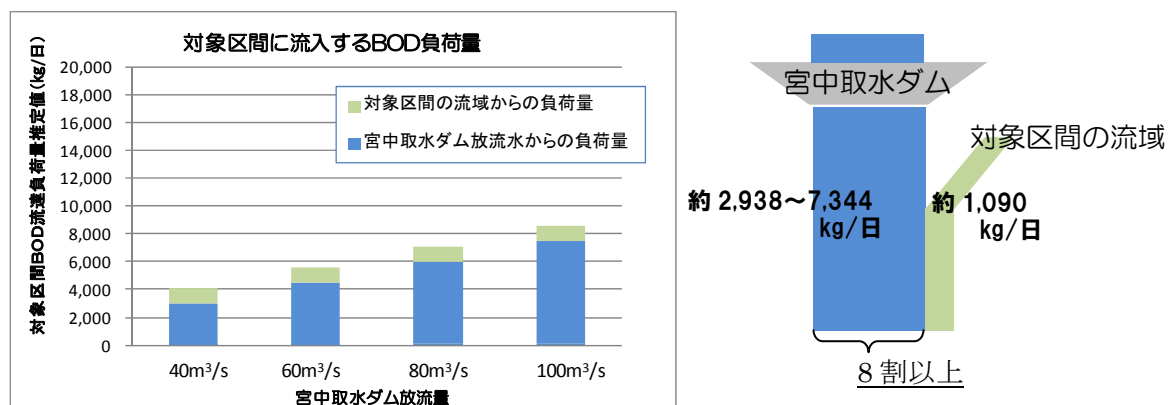
出典：「信濃川流域別下水道整備総合計画」（北陸地方整備局 平成 15 年 9 月）

図 3.1.1-2 信濃川における BOD 負荷量の状況（平成 30 年時点を推計）

3) 対象区間の支川からの流入量による本川水質の変化

宮中取水ダムにおける河川水質と放流量から、対象区間に流入する負荷量を算定し、対象区間の流域の負荷量との割合を比較した結果は図 3. 1. 1-3 に示すとおりである。これによれば、対象区間に流入する汚濁負荷量は、宮中取水ダム放流水からの負荷量が負荷量全体の 8 割以上を占める。

したがって、対象区間における水質は、宮中取水ダムからの放流水質そのものが支配的であり、対象区間の受け持つ流域からの汚濁負荷量が限定的である以上、放流量の変化が信濃川の水質に与える影響は限定的であると考えられる。



※1：宮中取水ダムからの BOD 負荷量は直上流の本川県境における過去 10 年間の水質 0.85mg/L と放流量 40～100m³/s の積とした。

※2：対象区間の流域からの BOD 負荷量は「信濃川流域別下水道整備総合計画」（北陸地方整備局 平成 15 年 9 月）で推計した流達負荷量を集計した。

図 3. 1. 1-3 対象区間に流達する BOD 負荷量の状況（平成 30 年時点を推計）

3.1.2 水温

対象区間における水温については、提言では「最高水温をコイ・フナ類など温水性魚類の生息に適した水温の上限とされる 28℃を超えないようにするためには、夏期（7 月 26 日～9 月 5 日）の間は、減水区間で 40m³/s 以上の河川流量を確保するべきである」としている。

しかしながら、試験放流期間はいずれの年も最高水温が 28℃を超過する日が確認された。

そこで、対象区間の水温変化の特性を再現できる水理・水温予測モデルを構築し、最高水温が 28℃を超過する際の水温上昇のメカニズム等を考察する。

今後、水理・水温予測モデルの再現性を確認した上で、気象や宮中取水ダムからの放流量等を変化させた場合の河川水温の変化を検討する。

(1) 水理・水温予測モデルの構築

水理・水温予測モデルは、移流・拡散のほか、大気等との熱交換を再現し、河川水温の空間分布及び時間変化を予測できる 3 次元モデルとし、構築したモデルは平成 26 年度観測結果により再現性の検証を行った。

①構築した水理・水温予測モデル

【流れの解析に係る基礎方程式】

[水の連続式]

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

[運動量保存式]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial w^2}{\partial z} = -\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} g + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z}$$

[水温収支式]

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} (D_{Th} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{Th} \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_{Tz} \frac{\partial T}{\partial z}) + \frac{H_{sz}}{\rho C_p} + S_T \end{aligned}$$

ここで、x、y：流れの水平方向の座標、z：流れの鉛直方向の座標、u、v、w：x、y、z 方向における流速成分、 ζ ：水位、g：重力加速度、 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ 、 $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ 、 $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ ：各方向の有効(分子+渦動)応力成分、T：水温、 C_p ：水の比熱、 D_{Th} 、 D_{Tz} ：水平および鉛直方向における熱の有効(分子+渦動)拡散係数、 ρ ：水温 T の水の密度、 ρ_0 ：水の基準密度、 H_{sz} ：日射等による熱の授受、 S_T ：日射等によるもの以外の熱の授受(河床、流入支川、湧水等)である。

【熱・エネルギーの解析に係る基礎方程式】

[日射等による熱の授受]

$$H_{sz} = \Phi_z + \Phi_L$$

ここで、 H_{sz} ：日射等による熱の授受、 Φ_z ：太陽の日射による熱供給、 Φ_L ：水面からの熱損失・熱供給

Φ_z ：太陽の日射による熱供給

日射による熱放射量 ϕ_s は水面で反射されて ϕ_0 となり、そのうち $\beta \phi_0$ は水面で吸収され、残りの $(1 - \beta) \phi_0$ が水中に吸収されながら水深の指数関数的に減衰していく。

また、樹木や地形により水面に影が落ちる場合には、日射量を一定割合で減じることとした。

$$\Phi_s = (1 - \alpha_r) \Phi_0$$

$$\Phi_{(s)} = (1 - \beta) \Phi_0 \cdot \exp\{-\eta(\zeta - z)\}$$

ここで、 Φ_s ：日射量、 Φ_0 ：水面反射を差し引いた日射量、 α_r ：水面反射率(≈ 0.06)¹、 $\Phi_{(s)}$ ：標高 z に達する放射熱、 β ：水面吸収率(≈ 0.5)²、 η ：減衰係数、 ζ ：水位である。

Φ_L ：水面からの熱損失、熱供給

水面付近では、日射による影響のほか、蒸発・伝導など、大気との間の熱損失・熱供給がある。これらの影響について、次のとおりモデル化した。

蒸発・伝導による熱損失は Rohwer の式、有効逆放射による熱損失を Swinbank の式を用いて計算した。

$$\Phi_z = \Phi_{ra} + \Phi_e + \Phi_c$$

$$\Phi_z + \Phi_c = (0.000308 + 0.000185W)\rho (e_s - \psi e_a) \times \left\{ L_v + C_p T_s + \frac{269.1(T_s - T_a)}{(e_s - \psi e_a)} \right\}$$

$$\Phi_{ra} = 0.97k \left\{ T_w^4 - 0.937 \times 10^{-5} T_A^6 (1.0 + 0.17 C_t^2) \right\}$$

¹ 土木学会：水理公式集 昭和 60 年版、p.95、1985

² 梅田信・落合雄太：気候変動による国内のダム湖水質への影響評価、土木学会論文集 G(環境)、Vol.68、NO.5、pp. I_127- I_135、2121

ここで、 ϕ_L ：水面からの熱損失(kcal/m²/日)、 ϕ_e ：蒸発による熱損失、 ϕ_c ：伝導による熱損失、 ϕ_{ra} ：有効逆放射(=水面からの長波逆放射－大気長波放射)による熱損失、 W ：風速(水面上 15cm の位置における値、m/s)、 e_s ：表面水温に相当する飽和蒸気圧(mmHg)、 e_a ：気温に相当する飽和蒸気圧(mmHg)、 ϕ ：相対湿度、 L_v ：蒸発の潜熱(kcal/kg)、 C_p ：水の比熱(kcal/kg/°C)、 T_s ：表面水温(°C)、 T_A ：気温(°C)、 T_w ：表面水温(K、絶対温度)、 C_t ：雲量(=0.0～1.0)、 k ：Stefan・Boltzmann 常数(= 1.171×10^{-6} kcal/(m²・日・K⁴))である。

【熱・エネルギーの解析に係る基礎方程式】

[日射等によるもの以外の熱の授受]

$$S_T = S_s + S_y + H_h$$

ここで、 S_s ：支川からの流入、 S_y ：湧水、 H_h ：河床との間の熱損失・供給である。

S_s ：支川からの流入

支川からの流入について、流入量は平成 26 年度の観測値により一定流量を設定、水温は平成 26 年度の毎時の観測値を設定した。対象とした支川は、39 支川である。

S_y ：湧水

湧水の流入について、湧水温は平成 26 年度の観測値の平均値を、湧水量は現地観測が実施されていないことから、湧水箇所の水温変化が再現できる適切な湧水量を設定した。

H_h ：河床との間の熱損失・供給

底層付近では、河床との間の熱損失・熱供給がある。この影響について、次のとおりモデル化した。

$$H_b(m \Delta t) = K_{\theta b} \sqrt{\frac{T_b^* - T_b}{m \Delta t}}$$

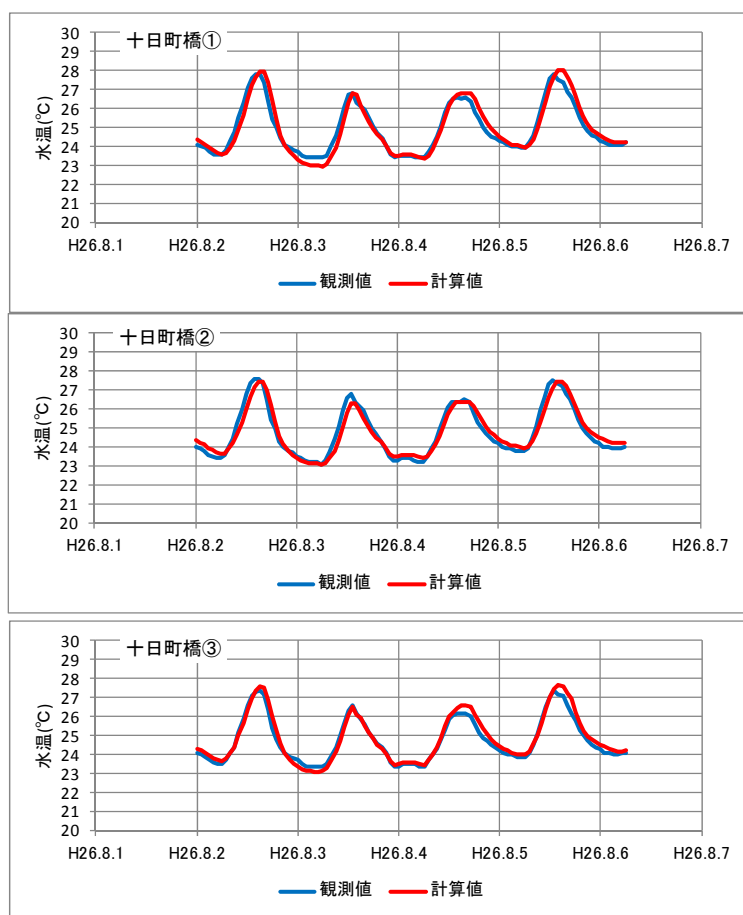
ここで、 H_b ：河床伝熱量、 $K_{\theta b}$ ：河床伝熱量に関する係数、 T_b ：底層水温、 T_b^* ：1 時間前における底層水温、 m ：1 時間前からの計算ステップ数、 Δt ：計算時間間隔である。

②水理・水温予測モデルの再現性

水理・水温予測モデルの再現性は、対象区間において詳細な水温観測が実施されていた平成26年の現地観測結果とを比較することで確認した。比較を行った期間は、最高水温が28℃を超過した日を含む降雨等による影響がない期間として、平成26年8月2日から8月6日までの期間とした。

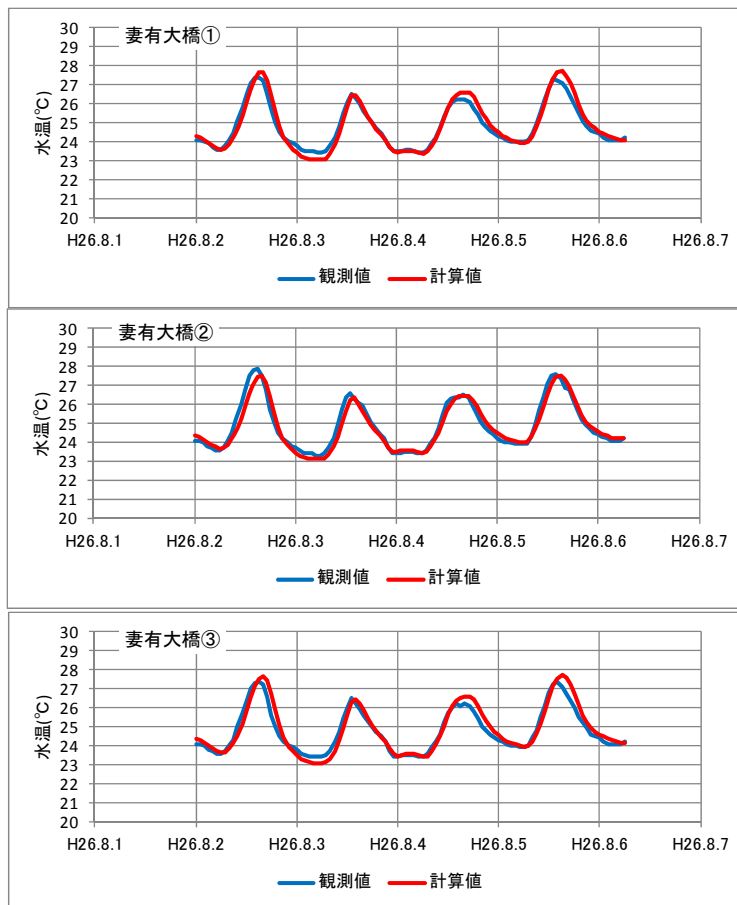
【定点における水温変化の再現性】

対象区間のうち、十日町橋、妻有大橋、栄橋及び川井大橋の各々3箇所の河床付近に設置された水温計における観測値と水理・水温予測モデルによる計算値を図3.1.1-3に示す。



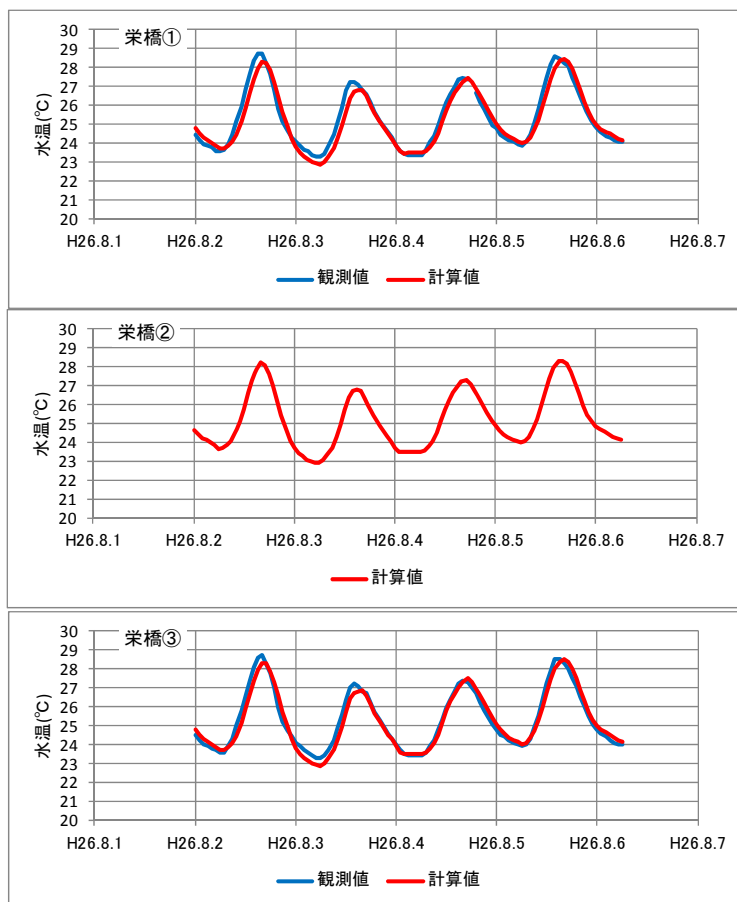
十日町橋

図 3.1.1-3(1) 水温再現性確認 (定点における水温変化①)



妻有大橋

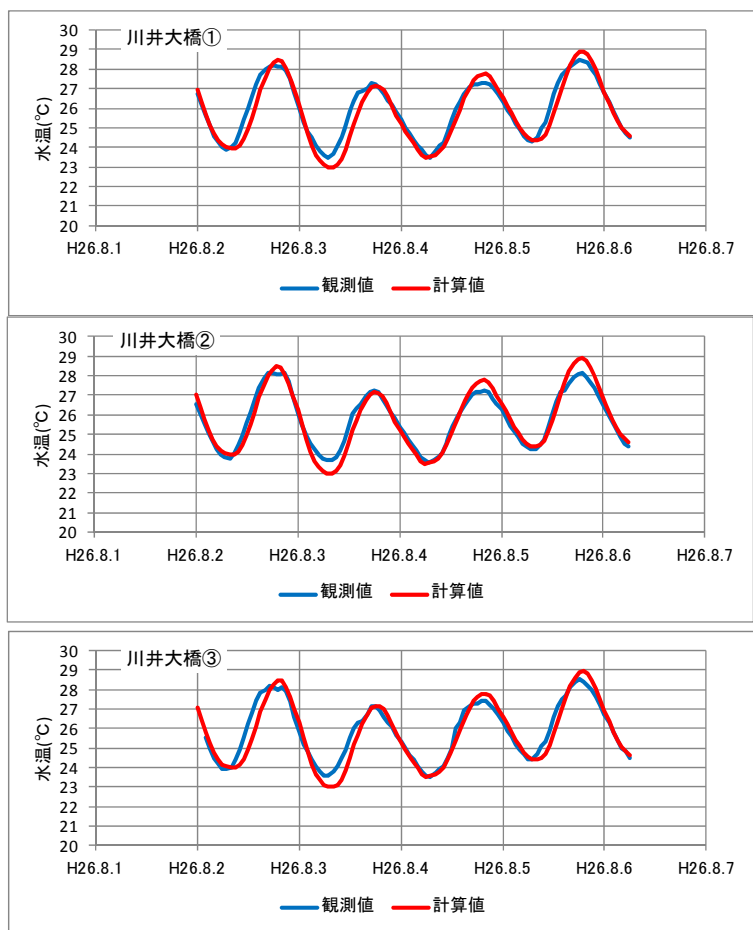
図 3.1.1-3 (2) 水温再現性確認 (定点における水温変化②)



栄橋

※栄橋②は8/4に観測機器の異常が確認されたことから、再現性検証の対象データとしなかった。

図 3.1.1-3 (3) 水温再現性確認 (定点における水温変化③)



川井大橋

図 3.1.1-3(4) 水温再現性確認（定点における水温変化④）

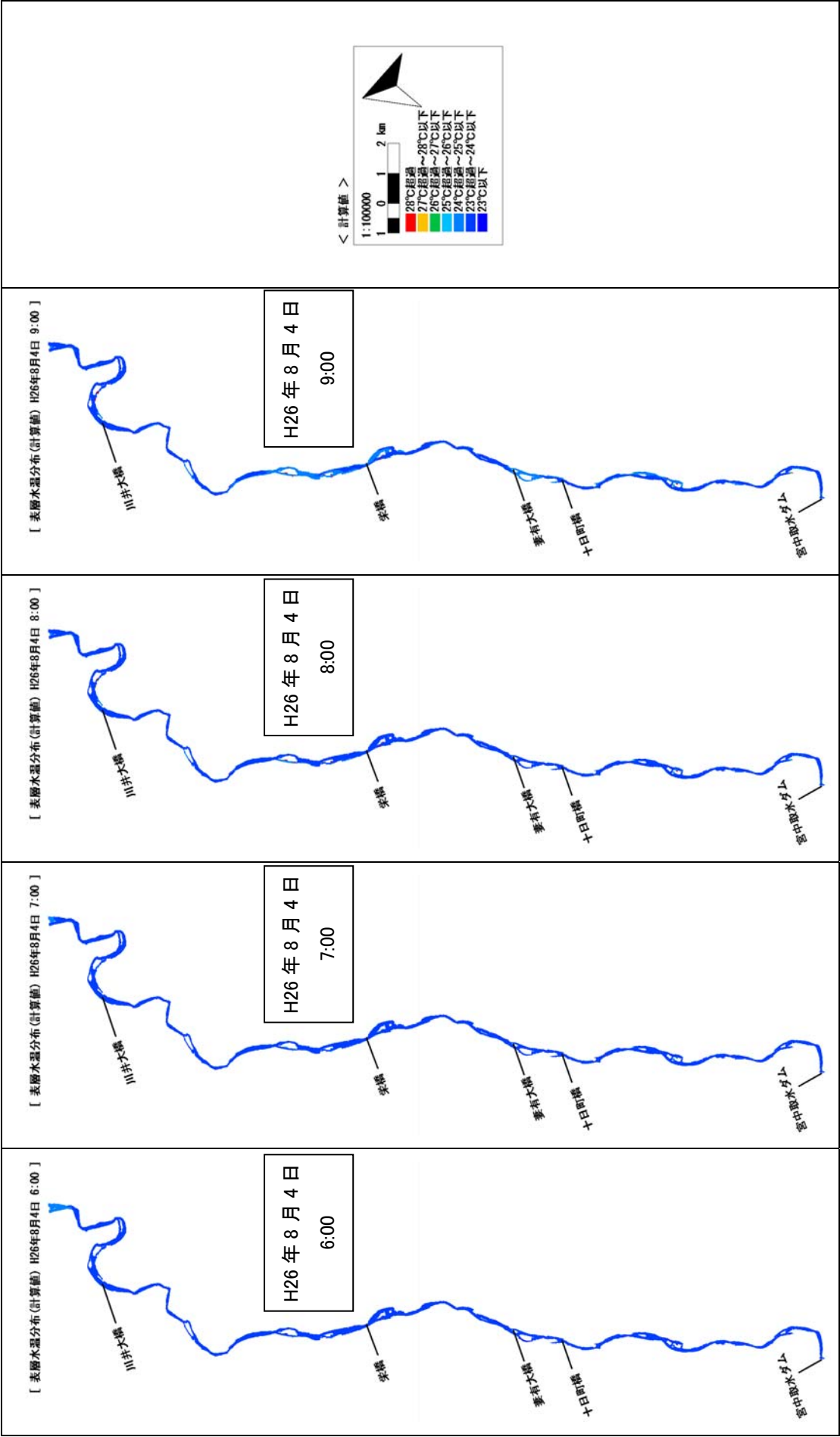


図 3.1.2-7(1) 対象区間における水温変化① (計算値)

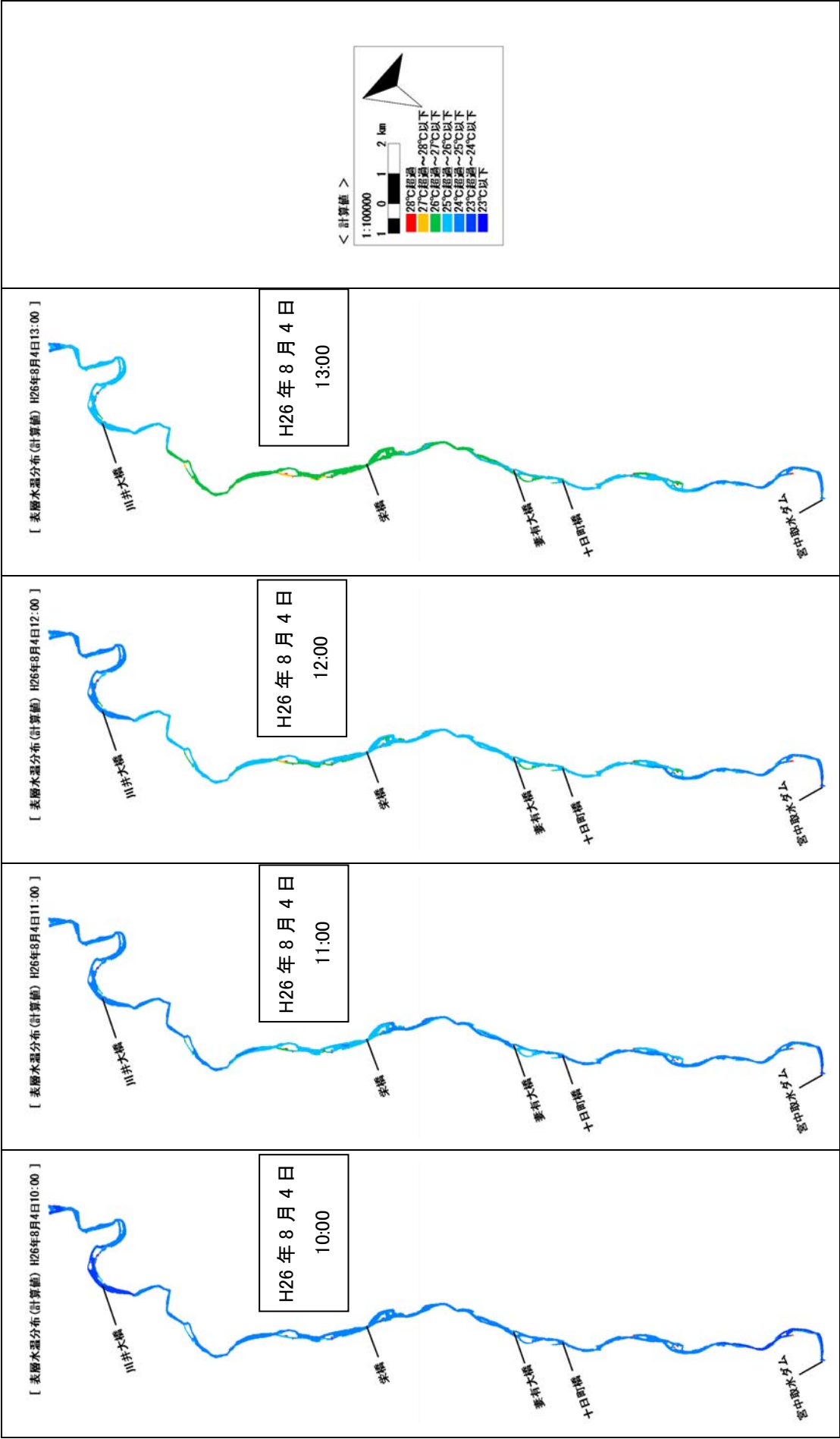


図 3.1.2-7(2) 対象区間における水温変化② (計算値)

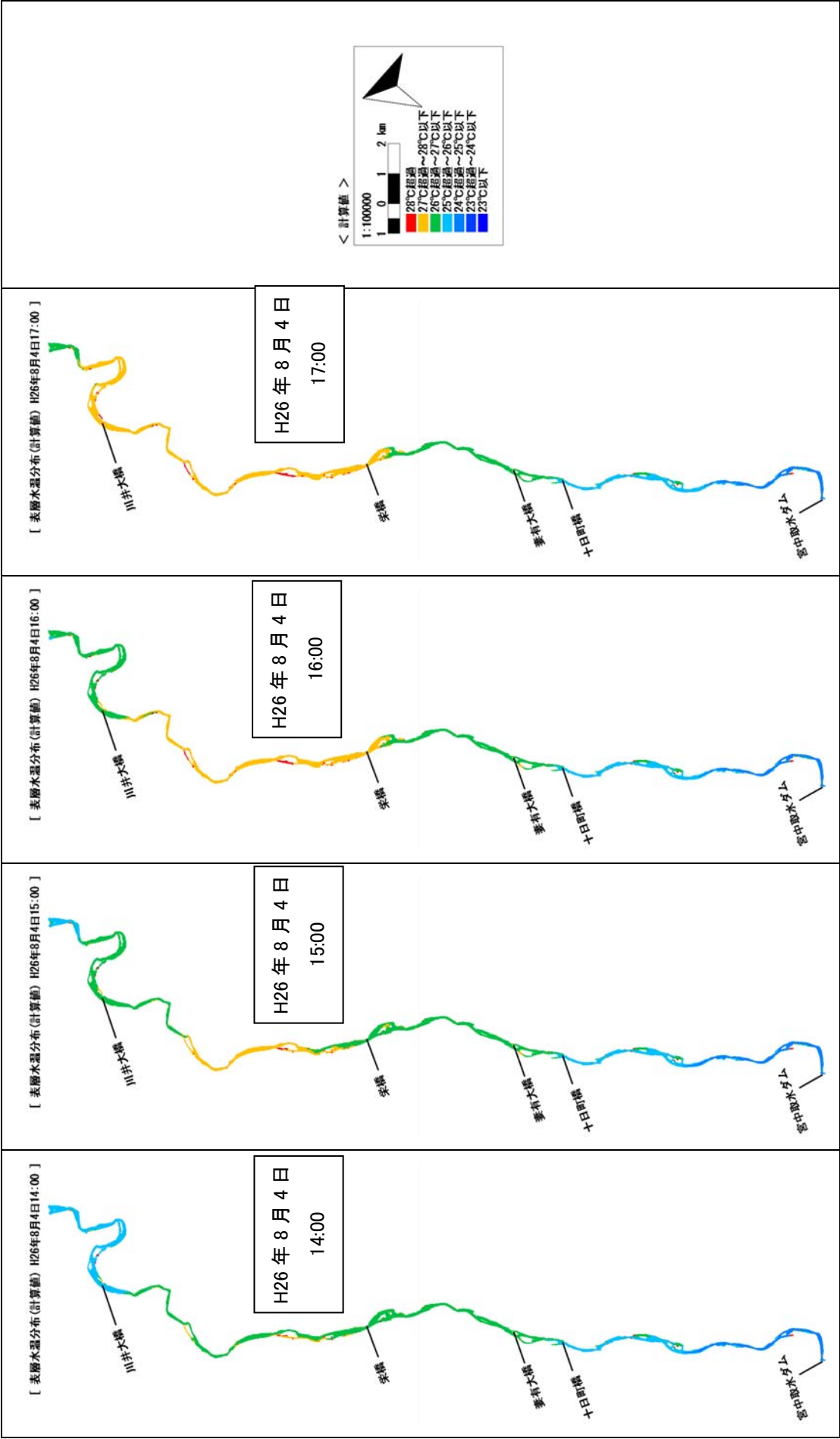


図 3. 1. 2-7 (3) 対象区間における水温変化③ (計算値)

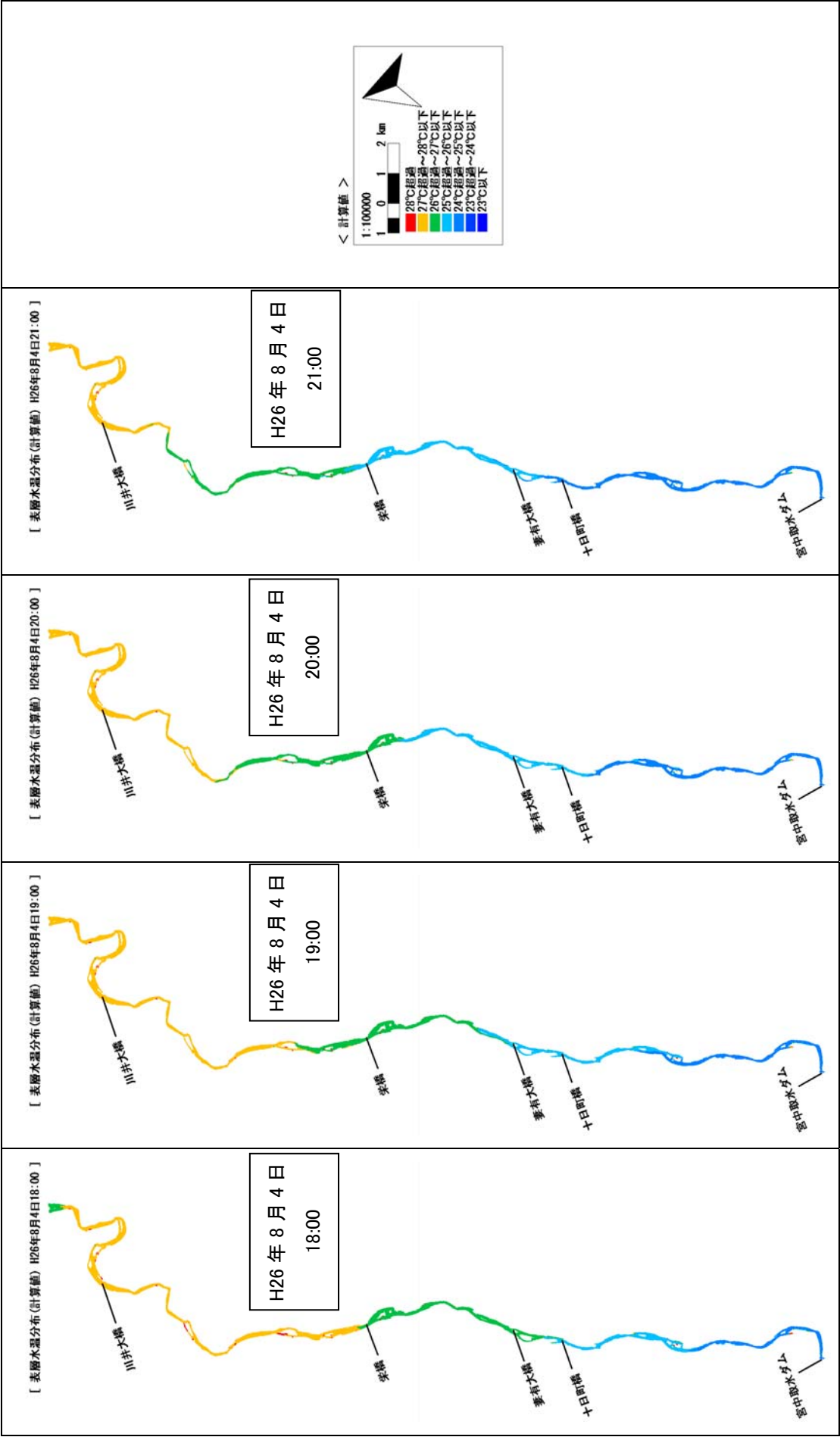


図 3. 1. 2-7(4) 対象区間における水温変化④ (計算値)

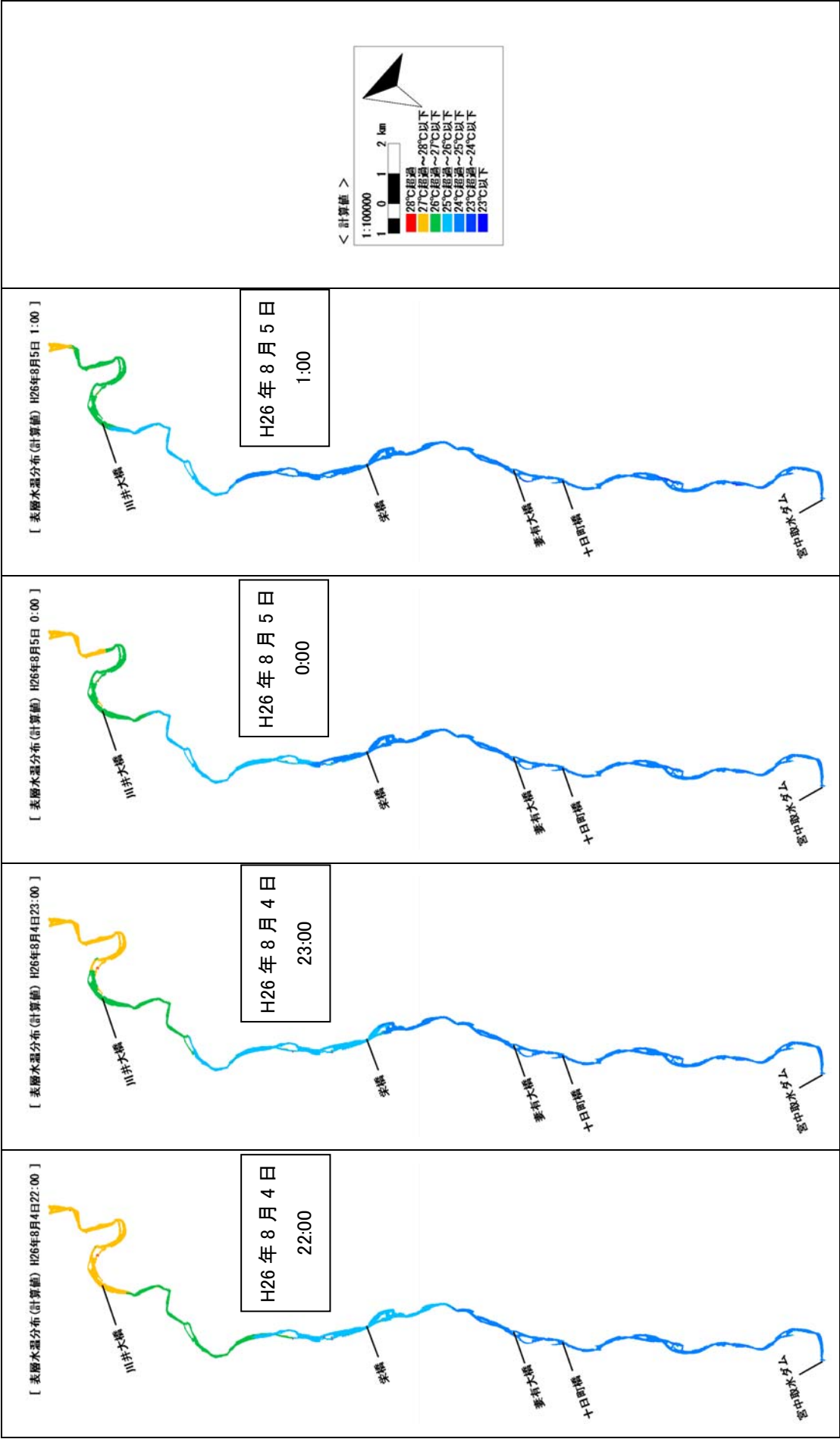


図 3.1.2-7(5) 対象区間における水温変化⑤ (計算値)

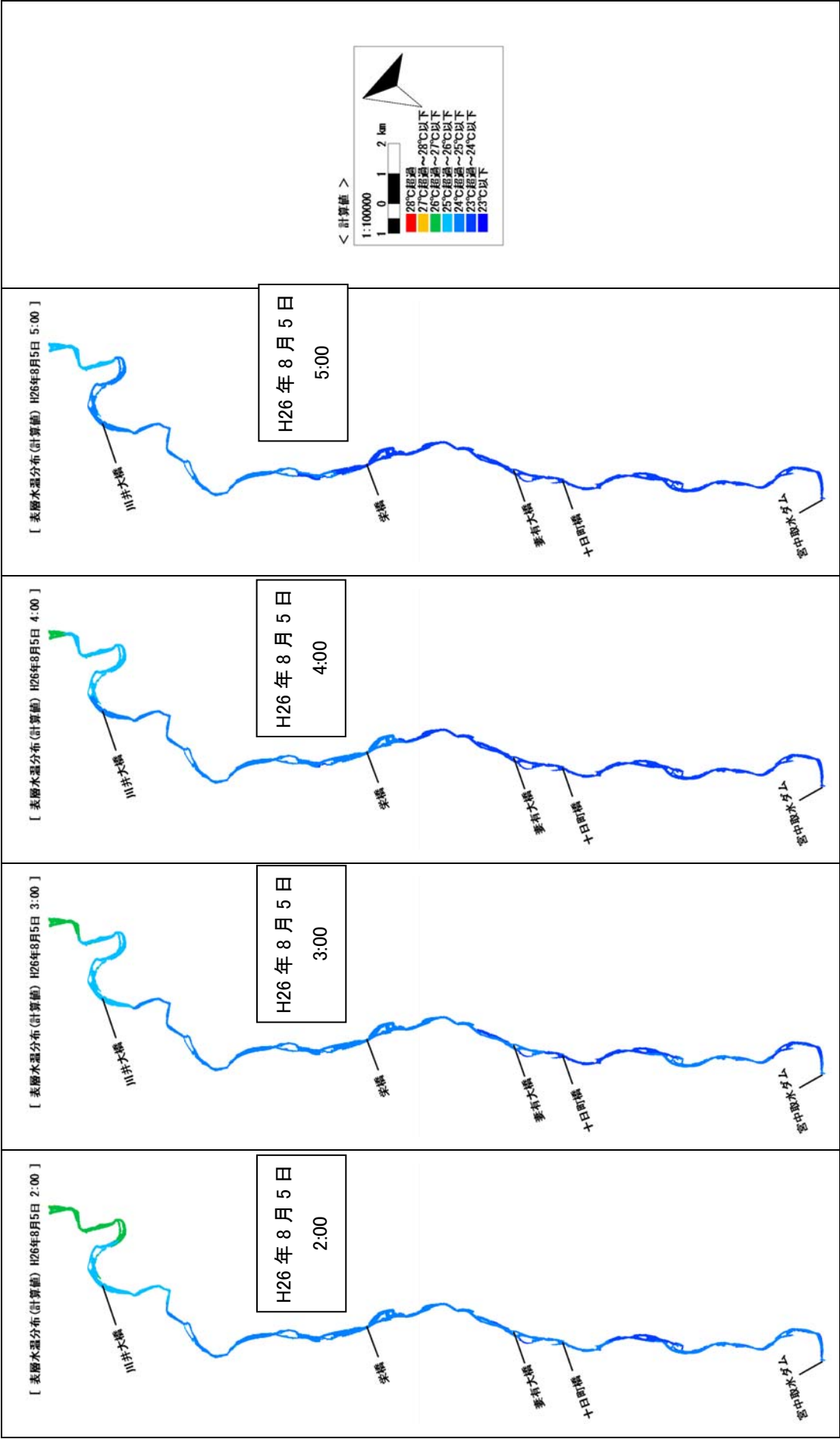


図 3.1.2-7(6) 対象区間における水温変化⑥ (計算値)

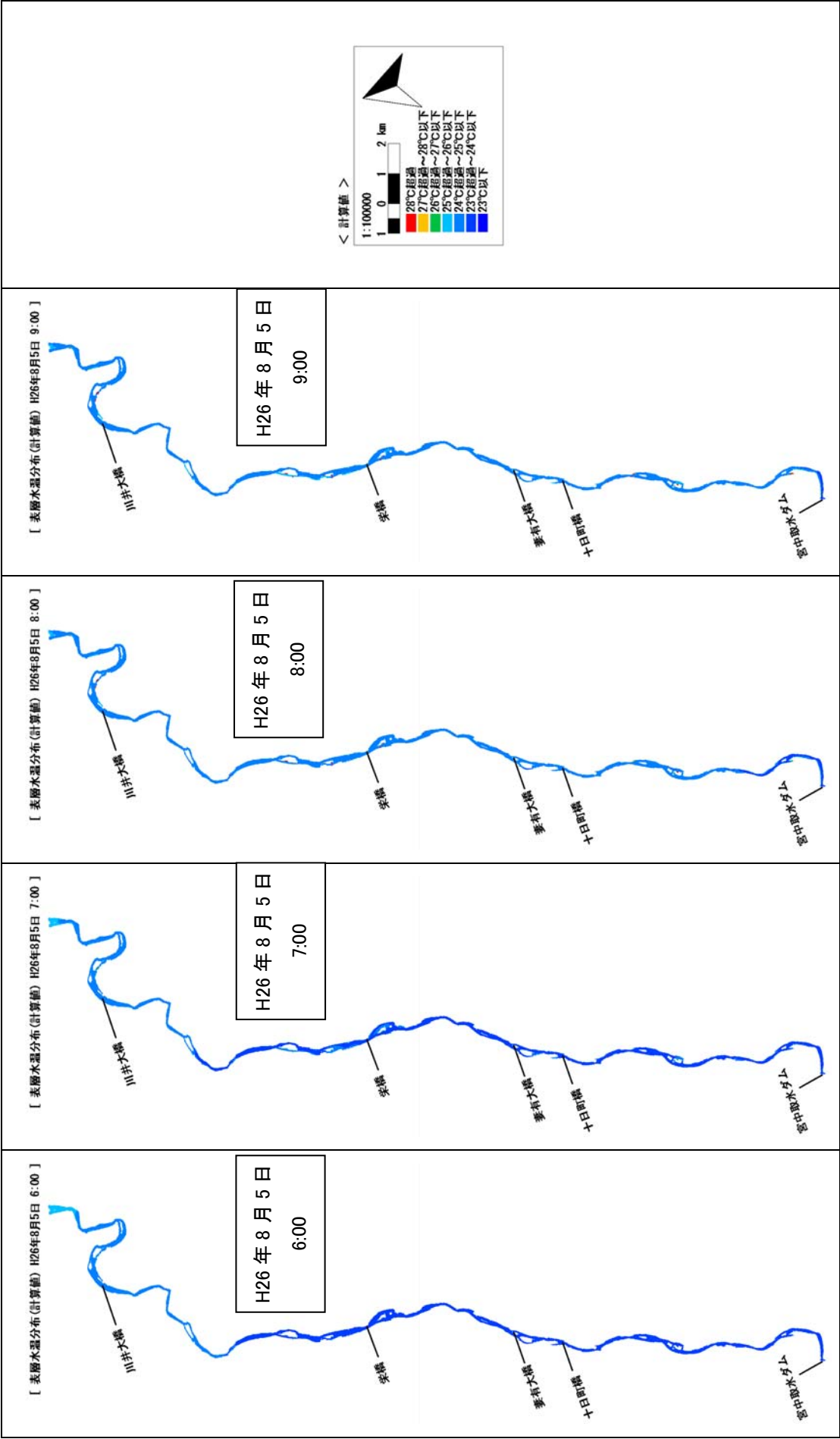


図 3.1.2-7(7) 対象区間における水温変化⑦ (計算値)

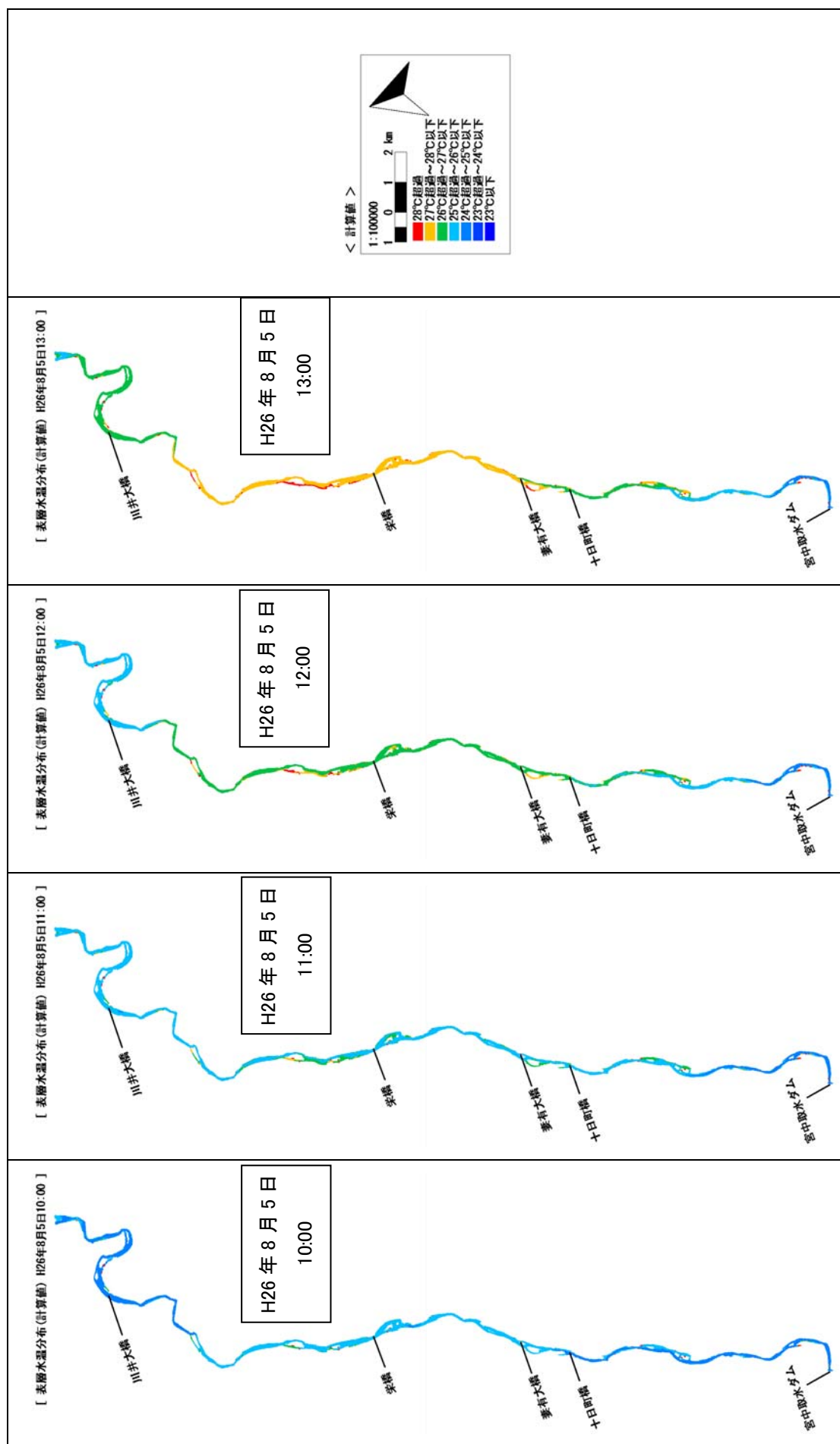


図 3.1.2-7(8) 対象区間における水温変化⑧ (計算値)

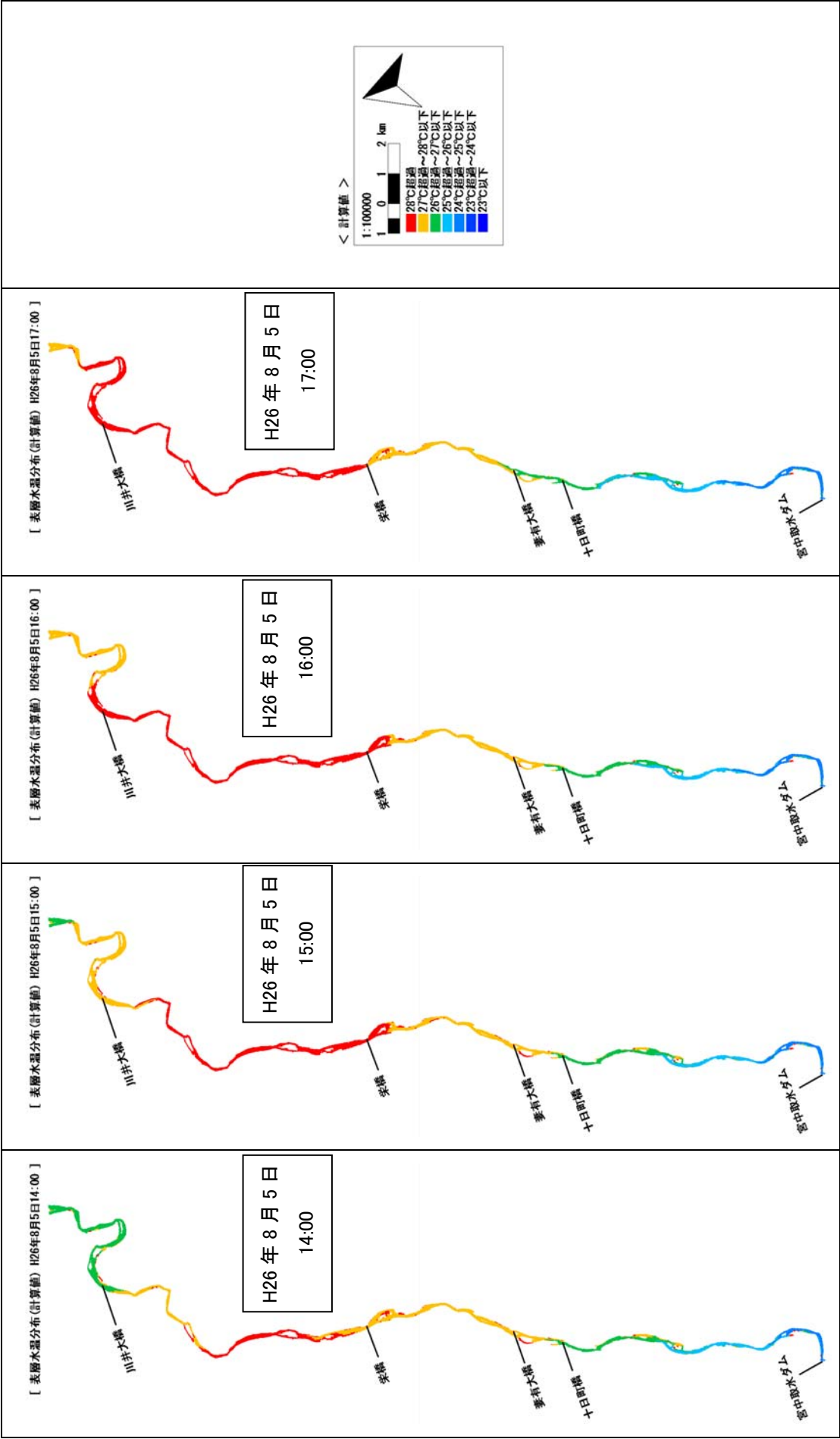


図 3. 1. 2-7 (9) 対象区間における水温変化⑨ (計算値)

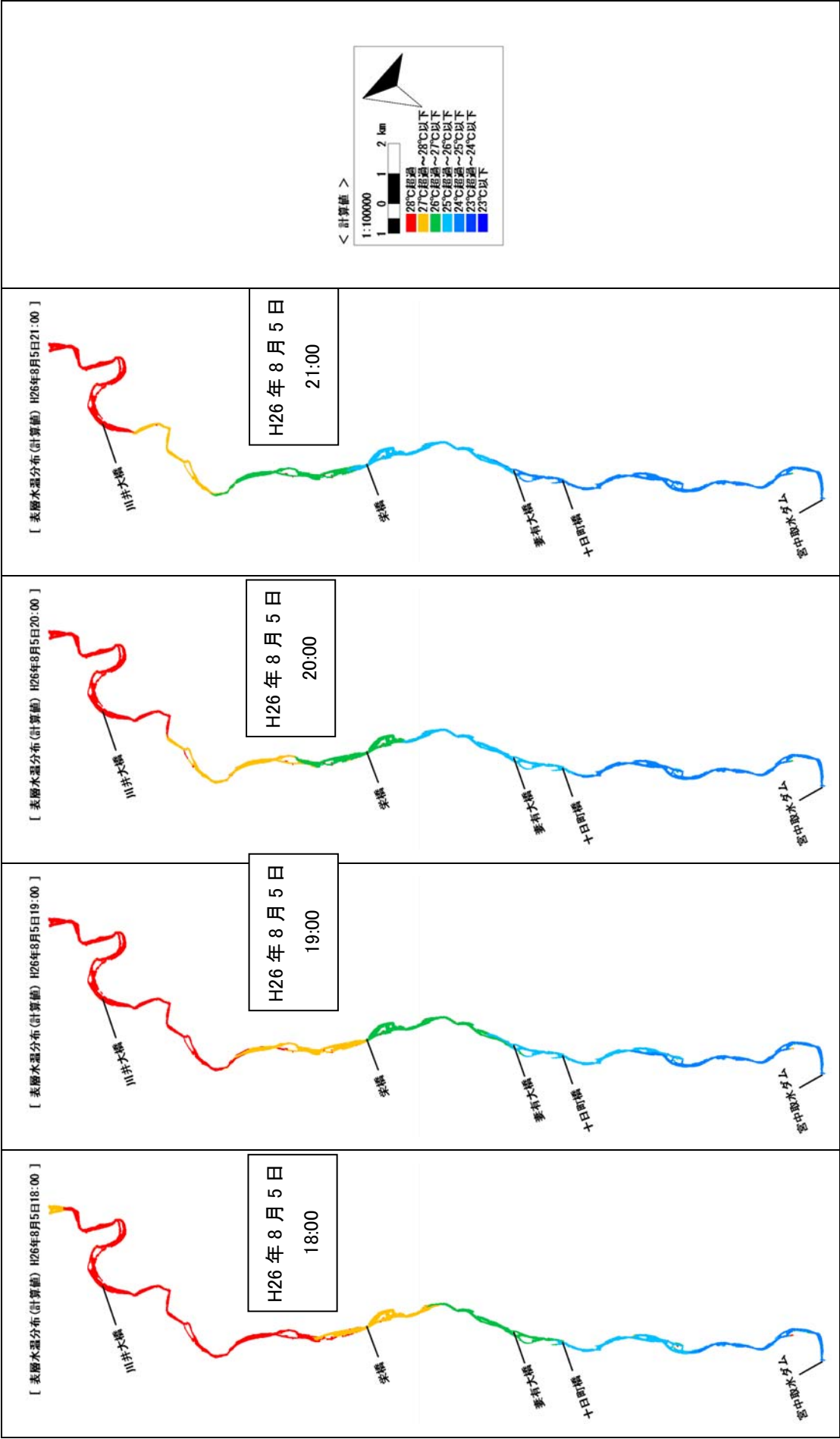


図 3.1.2-7(10) 対象区間における水温変化⑩ (計算値)

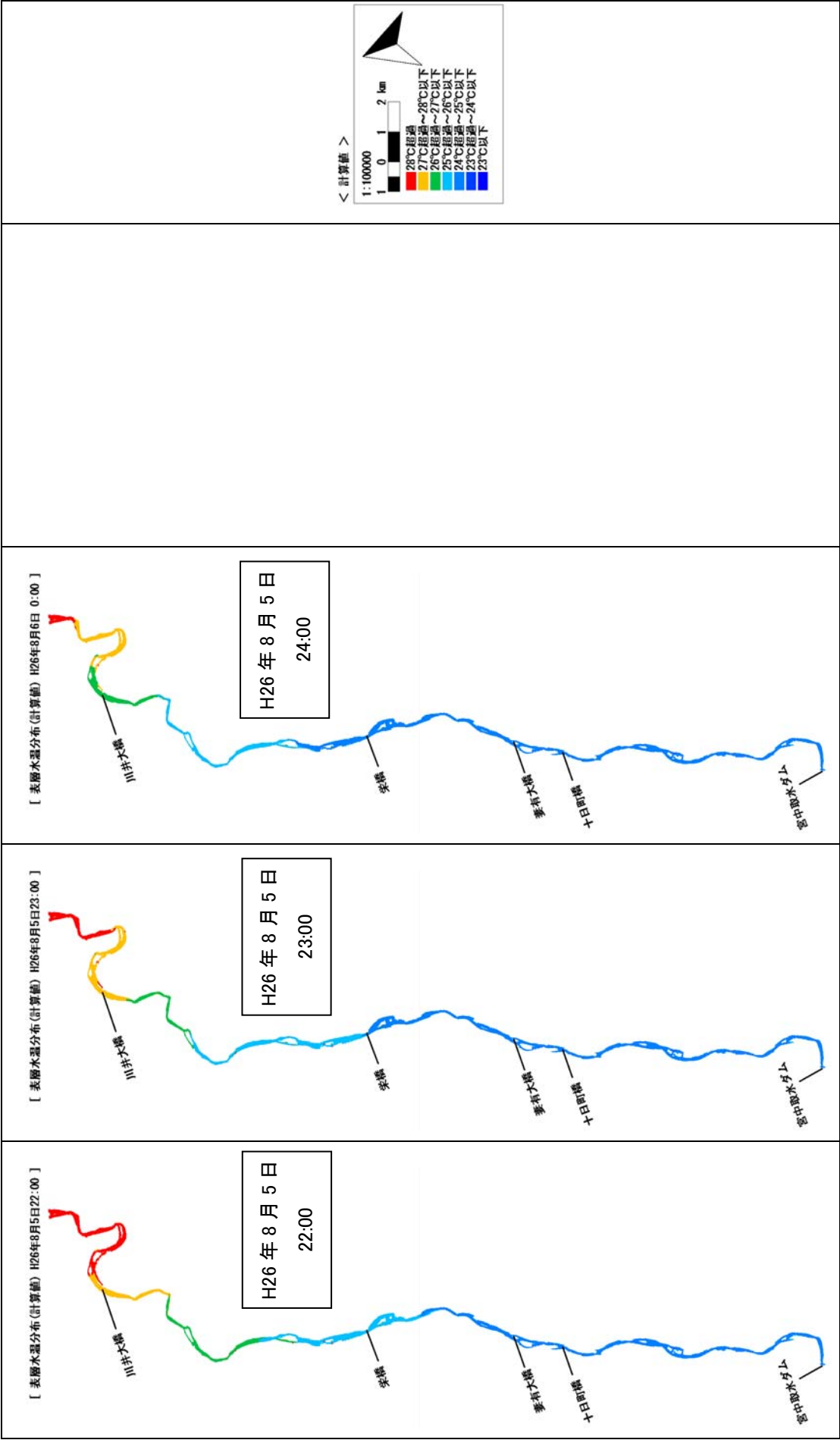


図 3. 1. 2-7 (11) 対象区間における水温変化⑪ (計算値)

(3) 今後の検討方針

今後、次のとおり検討を進める。

- 更に水理・水温予測モデルの設定定数等を精査し、精度を向上させる。
- 猛暑であった平成 24 年の 8 月 8～14 日の水温変化を再現し、この状況で宮中取水ダムからの放流量を $7\text{m}^3/\text{s}$ 、 $40\text{m}^3/\text{s}$ 、 $50\text{m}^3/\text{s}$ 、 $60\text{m}^3/\text{s}$ 、 $80\text{m}^3/\text{s}$ 、 $100\text{m}^3/\text{s}$ 、 $120\text{m}^3/\text{s}$ 、 $200\text{m}^3/\text{s}$ 等と変化させ、河川水温への影響を確認する。
- 平成 21 年 8 月 18 日の気温が非常に高いが、全量放流しており 28°C を上回らなかった状況を再現し、この状況で宮中取水ダムからの放流量を $7\text{m}^3/\text{s}$ 、 $40\text{m}^3/\text{s}$ 、 $50\text{m}^3/\text{s}$ 、 $60\text{m}^3/\text{s}$ 、 $80\text{m}^3/\text{s}$ 、 $100\text{m}^3/\text{s}$ 、 $120\text{m}^3/\text{s}$ 、 $200\text{m}^3/\text{s}$ 等と変化させ、河川水温への影響を確認する。
- 河川水温が 28°C を超過した複数日を対象に、対象区間で河川水温が 28°C を下回るために必要な放流量を試算する。
- 湧水の影響について検討を行う。
- 空間的な水温分布の特徴を整理するとともに放流量を変化させた場合の影響について取りまとめる。

3.1.3 河川形態

河川形態については、提言時に「宮中ダムによる減水区間については、減水により水域そのものが狭くなっており、これに伴い、早瀬や淵の面積が減少する傾向がみられる。」とされ、「発電取水による流量の減少のため、瀬、淵などの河川の状態が、本来あるべき姿とは異なっているのではないか。」という課題が示されている。

提言時は、既往の研究事例¹⁾を参考に平面 2 次元流計算により求めた水深、流速から流量の増加に伴う瀬、淵等の面積の増減量を推計し、少なくとも $40\text{m}^3/\text{s}$ の流量が必要であるとした。

5 年間の試験放流期間の多様な放流量において、現地で瀬、淵等の状況を確認すると共に、放流量の変化に対する瀬、淵等の変化について整理する。

(1) 水理計算に基づく瀬、淵等の形成状況の推定

提言時は、既往の研究事例¹⁾にあるように、瀬、淵の判断については Fr （フルード数）を用いて整理しており、 $Fr < 0.2$ を淵、 $Fr > 0.7$ を早瀬とし、それ以外を平瀬と定義している。

試験放流期間に実施した河川形態調査の結果においても、上記と同様の整理をするため、現地調査により記録された早瀬、淵等のそれぞれの地点について、3.1.2 で構築した 3 次元水理計算により水深、流速を求め、これを整理したものを図 3.1.3-1 に示す。

提言時は、早瀬の境界 Fr を 0.7 としていたが、今回実施した調査結果に基づく早瀬の流速と水深の関係図は文献における分布より水深方向にばらつきが出ているため、今回は早瀬の Fr について 0.5 に修正することとする。

淵については、提言時の Fr の変更が必要となるほどには、今回実施した調査結果に基づく流速と水深の関係図は提言時から変化していないため、提言時の Fr を継承することとする。

なお、早瀬については、現地調査より概ね水深 75cm 以深では平瀬のような状態となることを確認したことから、平瀬の判断は水深 75cm 以下とする条件を追加することとする。

以上の検討結果を纏めると、以下のようになる。

淵 : $Fr < 0.2$

早瀬 : $Fr > 0.5$ かつ水深 75cm 以下

平瀬他 : $0.5 \geq Fr \geq 0.2$ 及び $Fr > 0.5$ かつ水深 75cm 以上

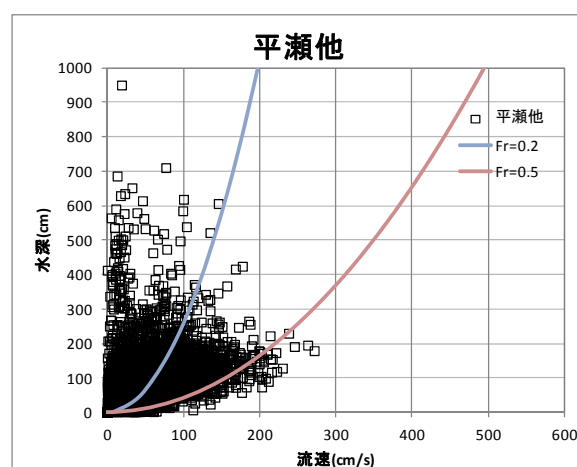
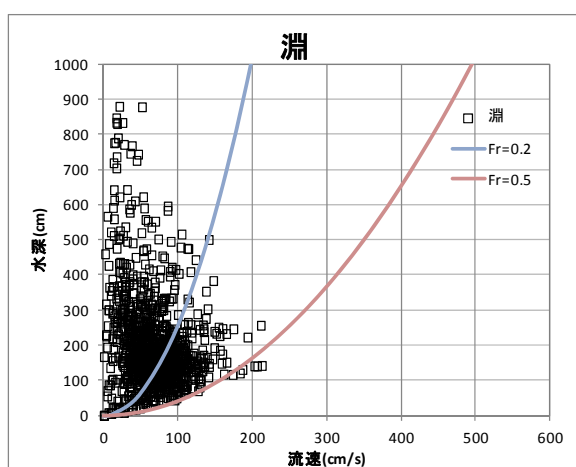
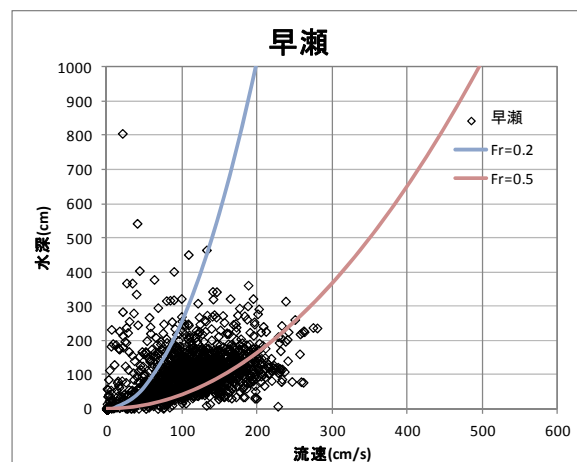
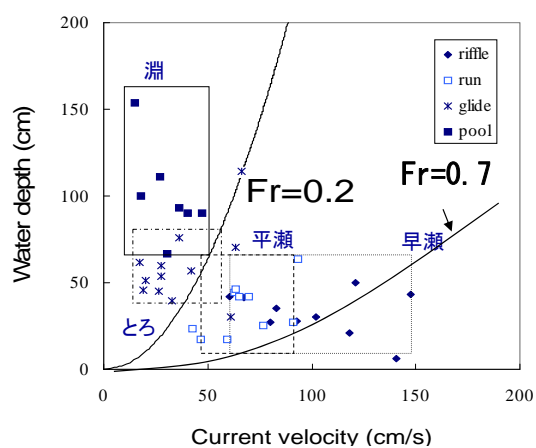


図 3. 1. 3-1 各環境要素の流速・水深の分布 (左上：研究事例 (萱場他, 2006) に加筆)

② 流量の変化に対する瀬、淵等の面積変化

対象区間の代表的な橋梁 3 地点 (十日町橋、栄橋、川井大橋) の周辺の早瀬・淵等の状況について、検討対象流量を $7 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $80 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ と変化させた場合の早瀬・淵等の面積割合を、①で検討した Fr の境界条件で提言策定時に使用した平面 2 次元流計算を用いて算出した。

併せて、流量が $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 変化する際の早瀬・淵等の面積割合の変化量についても整理した。

ア 十日町橋

流量変化に伴う平面2次元流計算による早瀬・淵等の割合の変化を図3.1.3-2に示す。

早瀬の割合は、流量の増加に伴い増加する傾向がみられるが、流量が大きくなると増加は小さくなり概ね横ばいとなる。

淵の割合は、流量の増加に対して面積割合は減少する。

平瀬の割合は、淵の減少に伴い増加するが、流量が少ない場合は早瀬の増加に伴い減少する。

流量が $1\text{m}^3/\text{s}$ 変化する際の瀬・淵の面積割合の変化量の絶対値は、流量が変化してもあまり変化しない。

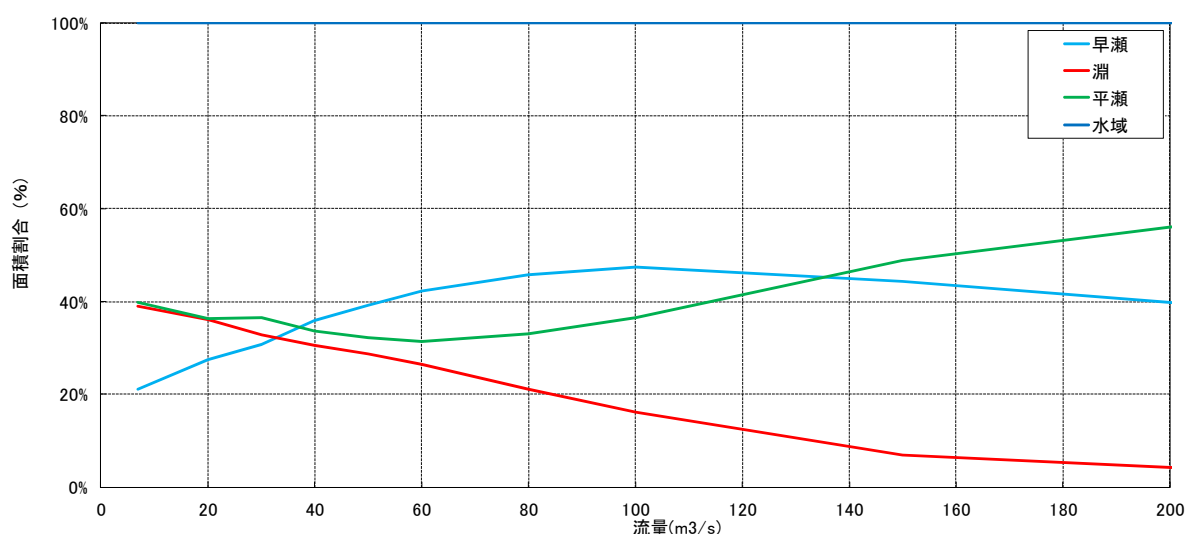


図 3.1.3-2 流量変化に伴う環境要素の面積変化（十日町橋）

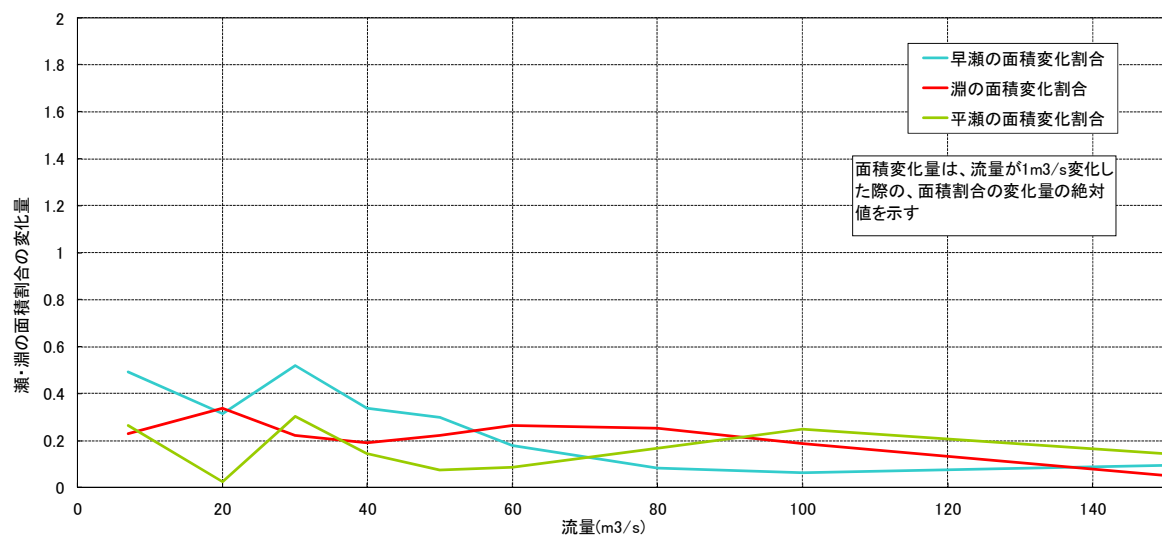


図 3.1.3-3 流量変化に伴う環境要素の面積変化量（十日町橋）

イ 栄橋

流量変化に伴う平面2次元流計算による早瀬・淵等の割合の変化を、図3.1.3-4に示す。

早瀬の割合は、30～40m³/s程度まで流量の増加に伴い増加するが、それ以上の流量では概ね横ばいから減少傾向となる。

淵の割合は、流量が概ね30～40m³/sまでは急激に減少するが、それ以上の流量では概ね横ばいとなる。

平瀬の割合は、流量が30～40m³/sまでは急激に増加するが、それ以上の流量では、概ね横ばいとなる。

流量が1m³/s変化する際の瀬・淵の面積割合の変化量の絶対値は、30～40m³/sまでは変化量が多いが、それ以上の流量ではあまり変化しない。

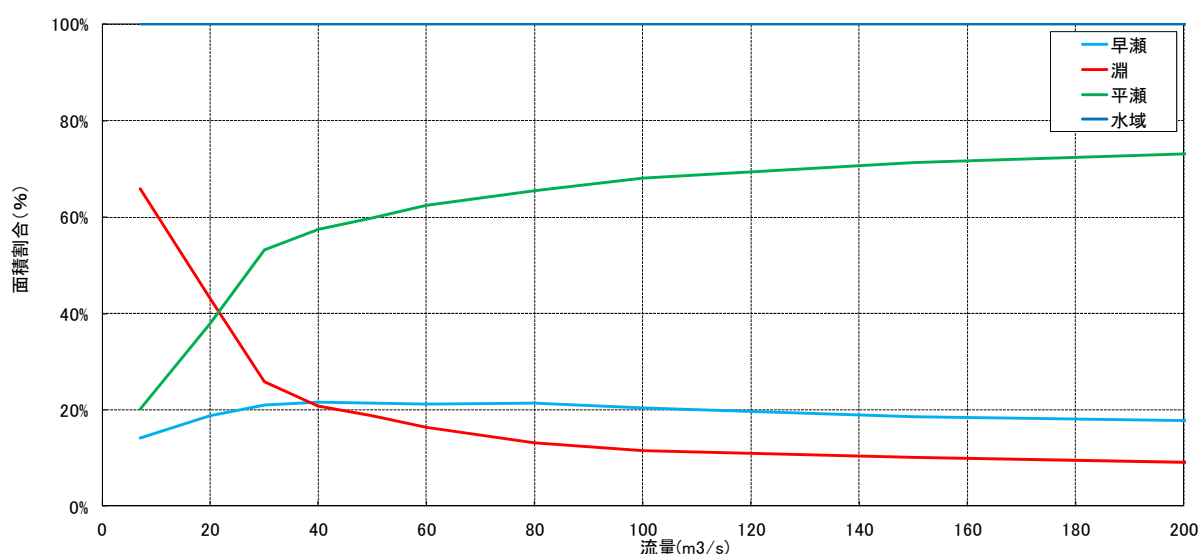


図 3.1.3-4 流量変化に伴う環境要素の面積変化（栄橋）

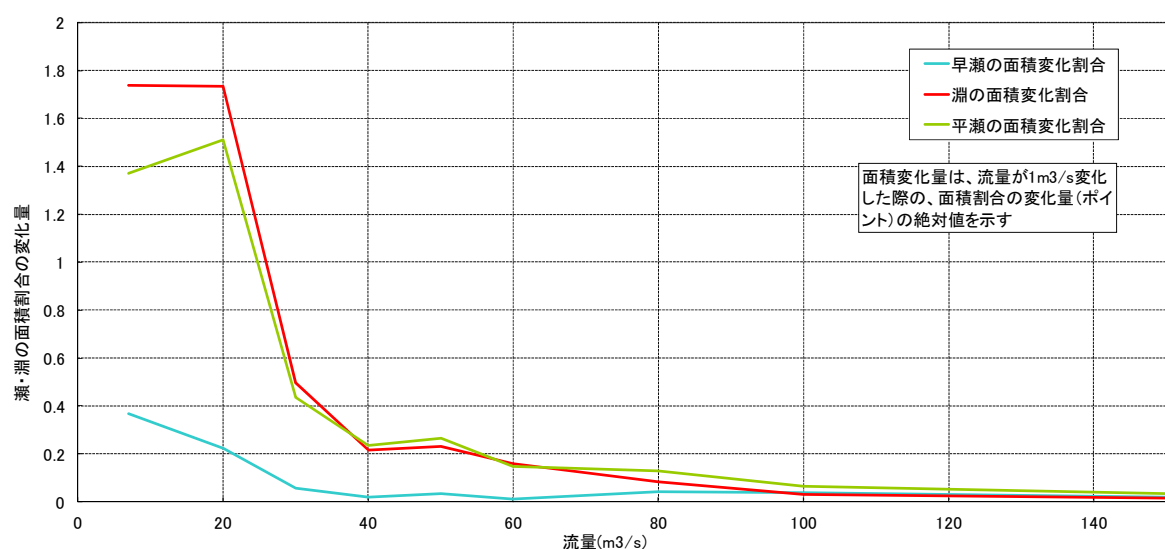


図 3.1.3-5 流量変化に伴う環境要素の割合の変化量（栄橋）

ウ 川井大橋

流量変化に伴う平面 2 次元流計算による早瀬・淵等の割合の変化を、図 3.1.3-6 に示す。

早瀬の割合は、30～40m³/s 程度まで流量の増加に伴い増加するが、それ以上の流量では概ね横ばいとなる。

淵の割合は、流量が 30～40m³/s まで急激に減少するが、それ以上の流量では概ね横ばいとなる。

平瀬の割合は、流量が 20～30m³/s までは急激に高くなるが、それ以上の流量では流量の増加に伴い緩やかに増加する。

流量が 1m³/s 変化する際の瀬・淵の面積割合の変化量の絶対値は、概ね 40m³/s までは変化量が大きいですが、それ以上の流量ではあまり変化しない。

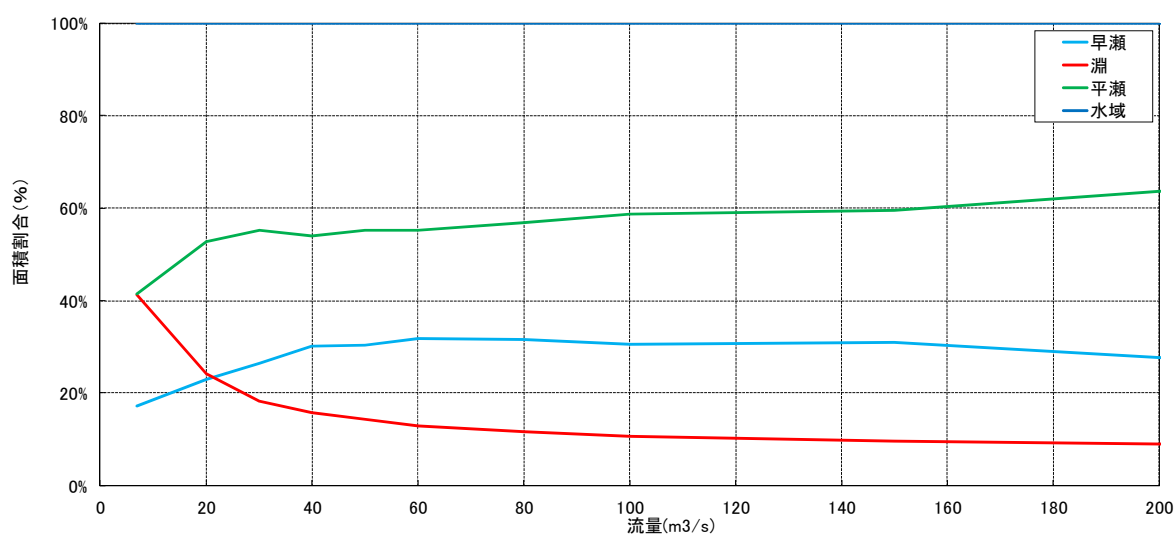


図 3.1.3-6 流量変化に伴う環境要素の面積変化（川井大橋）

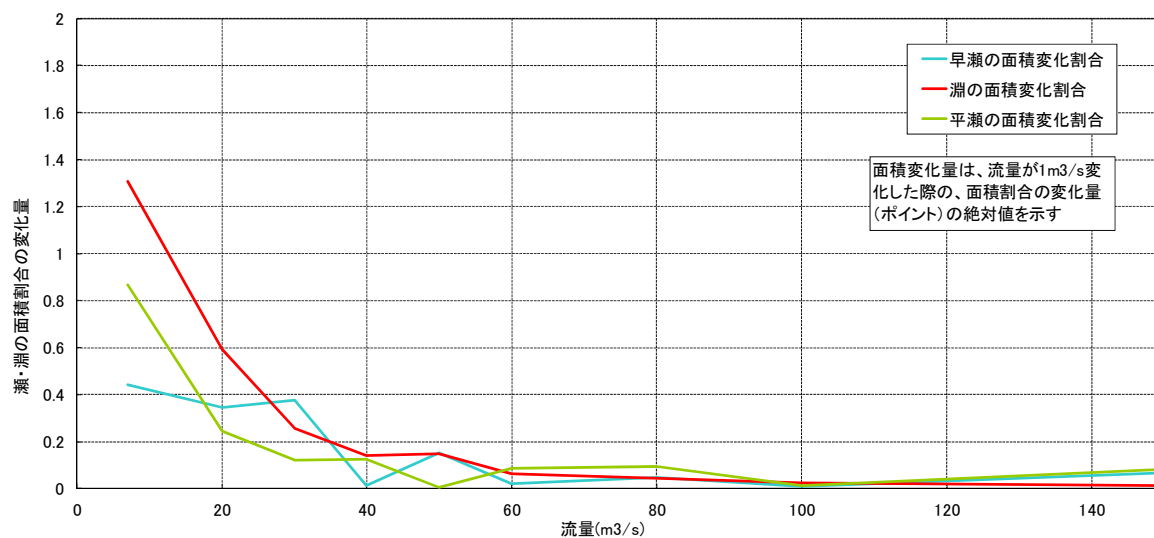


図 3.1.3-7 流量変化に伴う環境要素の割合の変化量（川井大橋）

(2) 対象区間全体の環境要素の変化

空中写真判読及び現地調査により判別された対象区間全体における瀬、淵等、環境要素の面積と宮中取水ダム放流量との関係を整理した。なお、判読には撮影に伴う歪みを補正（オルソ化）した空中写真を使用した。

判読に用いた空中写真の撮影日及び現地調査時の宮中取水ダム放流量を、表 3. 1. 3-1 に示す。

表 3. 1. 3-1 空中写真の撮影日及び現地調査時の宮中取水ダム放流量

No.	空中写真撮影日	現地調査日	宮中取水ダム放流量 (m^3/s)
1	平成 22 年 11 月 27 日	—	100.2
2	平成 22 年 12 月 2 日	—	52.3
3	平成 22 年 12 月 6 日	—	81.9
4	平成 23 年 10 月 12 日	平成 23 年 10 月 12 日	81.0
5	平成 23 年 11 月 18 日	平成 23 年 11 月 17 日	50.6
6	平成 24 年 10 月 16 日	平成 24 年 10 月 16 日	60.7
7	平成 24 年 11 月 16 日	平成 24 年 11 月 13 日	42.7
8	平成 25 年 12 月 9 日	平成 25 年 12 月 5 日	42.2

宮中取水ダム放流量 $40\sim 100\text{m}^3/\text{s}$ における対象区間全体でみた早瀬・淵等の面積は、「平瀬及びワンド・たまり」以外は、流量が増加するに伴い面積も微増していくことが分かった。

ただし、その変化は大きなものではなく、対象区間の代表的な橋梁 3 地点で検討した結果と概ね同様であった。

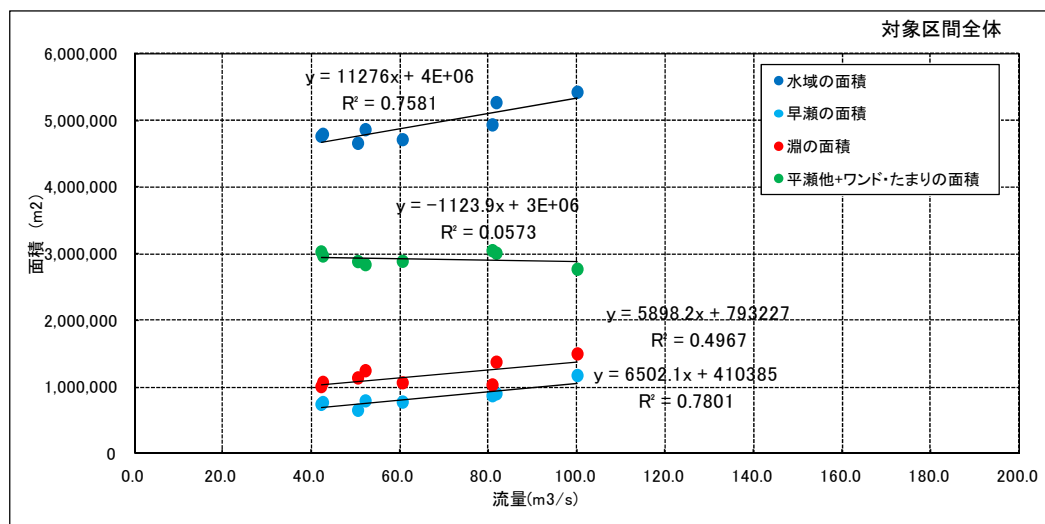


図 3. 1. 3-8 対象区間全体の環境要素の面積変化

3.1.4 河川景観

河川景観については、提言時に見かけの河川幅（B）と水面幅（W）の比に基づく検討により、「良好な河川景観を維持するためには、宮中減水区間では宮中取水ダム直下で $25\text{m}^3/\text{s}$ 以上の河川流量を確保すべきである」とされている。

望ましい河川景観としては、「正常流量検討の手引き（案）」において見かけの河川幅（B）と水面幅（W）の比（ W/B ）が 0.2 以上であるとしている。

5 カ年の試験放流期間における多様な放流量において景観調査を行った結果を取りまとめると共に、提言時の検討地点に加え航空写真より W/B 値が低くなる可能性のある場所を抽出し検討を加えた。

(1) 河川景観の解析

1) 景観調査

検証委員会で選定した橋梁から流軸方向の俯角（水平から下向き角度）に対応した見かけの水面幅（W）と見かけの河川幅（B）を計測し、流量と W/B の関係を整理した。 W/B の関係と算出イメージを図 3.1.4-1 に示す。

調査日の宮中取水ダム放流量と各地点の W/B 値の関係を図 3.1.4-2 及び表 3.1.4-1～4 に示す。宮中ダム放流量 $40\sim 100\text{m}^3/\text{s}$ では、いずれの地点においても $W/B \geq 0.4$ (>0.2) となることが確認された。

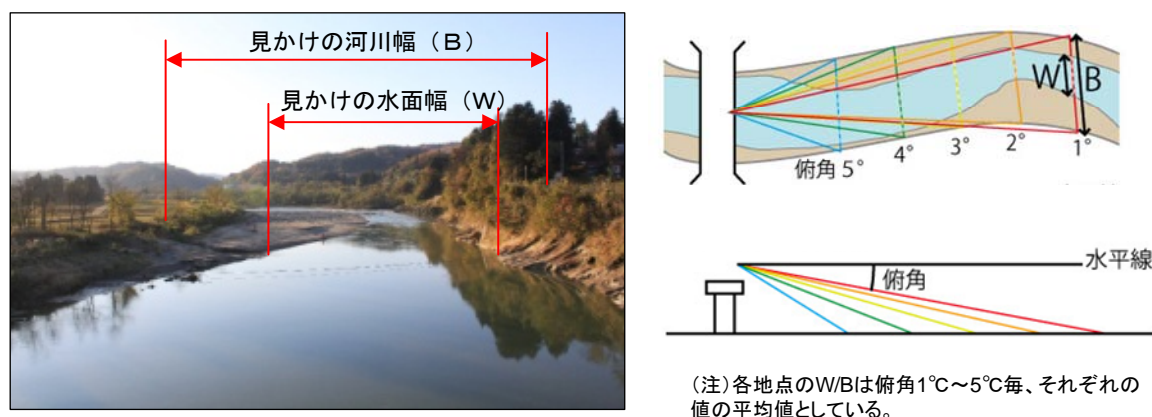


図 3.1.4-1 W/B の関係（左）と算出イメージ（右）

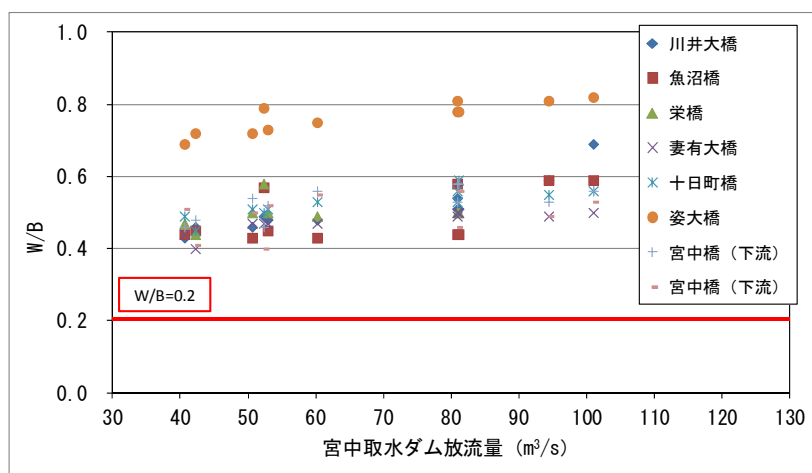


図 3.1.4-2 宮中取水ダム放流量と W/B の関係

表 3. 1. 4-1 景観調査結果から算出した W/B

調査年度	平成 22 年度			
調査日	2011 年 3 月 19 日	2010 年 12 月 2 日	2010 年 9 月 6 日	2010 年 8 月 19 日
調査時流量	7.6m ³ /s	52.3m ³ /s	80.9m ³ /s	94.4m ³ /s
川井大橋	 W/B 0.36	 W/B 0.49	 W/B 0.54	 W/B 0.59
魚沼橋	 W/B 0.44	 W/B 0.57	 W/B 0.58	 W/B 0.59
栄橋	 W/B 0.47	 W/B 0.58	(11/30 まで橋梁工事のため景観撮影なし)	
妻有大橋	 W/B 0.32	 W/B 0.47	 W/B 0.49	 W/B 0.49
十日町橋	 W/B 0.32	 W/B 0.50	 W/B 0.53	 W/B 0.55
姿大橋	 W/B 0.42	 W/B 0.79	 W/B 0.81	 W/B 0.81
宮中橋 (下流)	 W/B 0.34	 W/B 0.46	 W/B 0.53	 W/B 0.53
宮中橋 (上流)	 W/B 0.23	 W/B 0.40	 W/B 0.46	 W/B 0.49

表 3. 1. 4-2 景観調査結果から算出した W/B





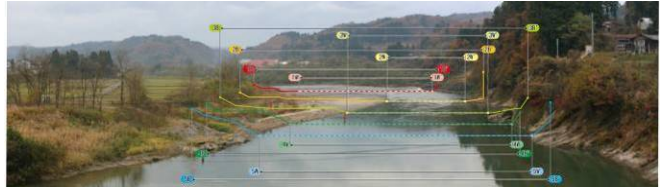
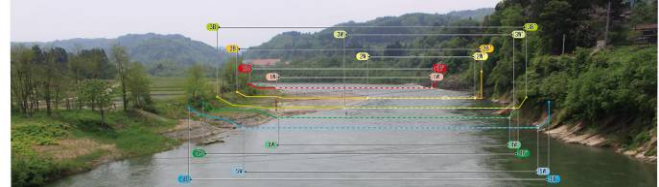
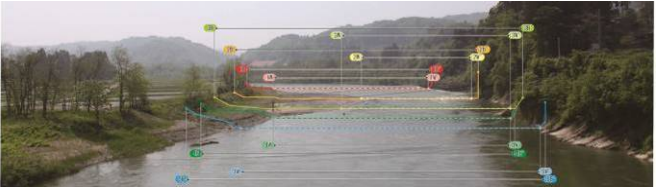
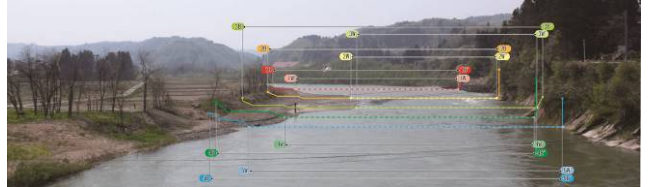
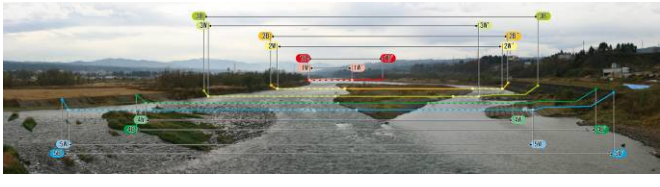
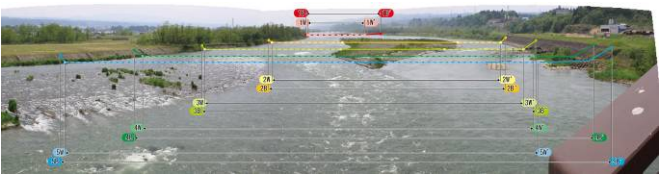
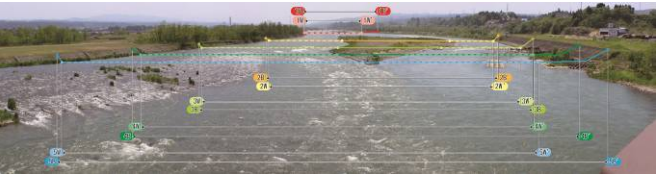
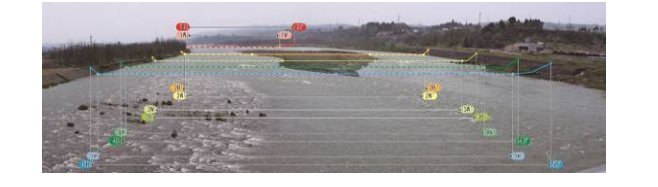
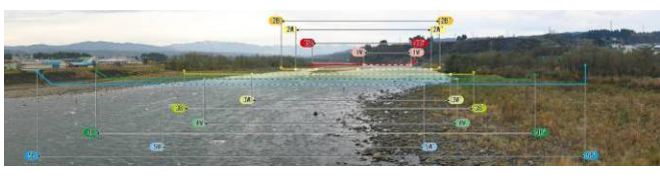
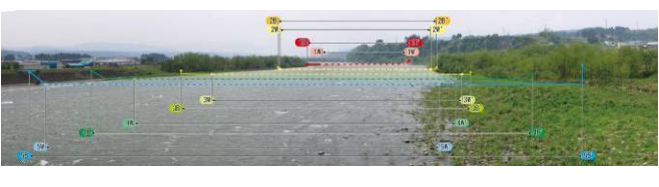
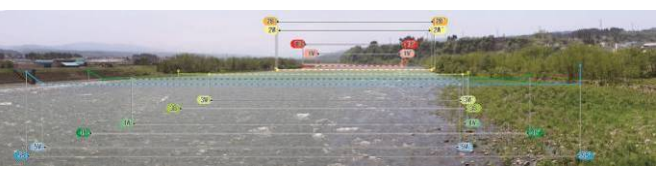

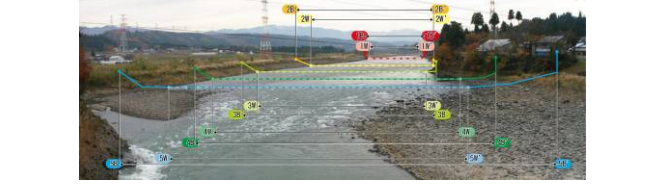
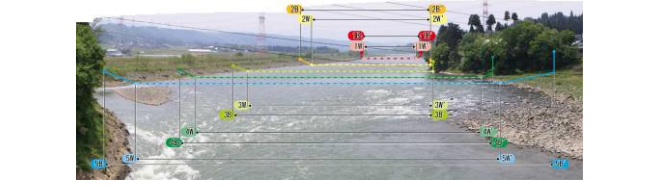

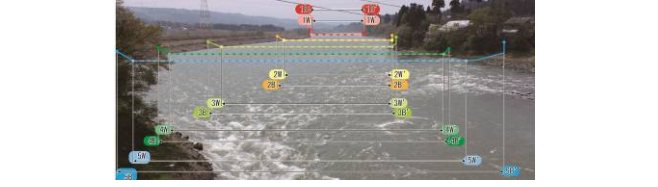
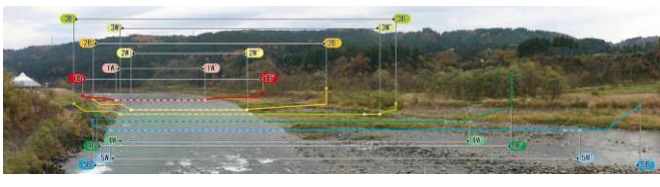
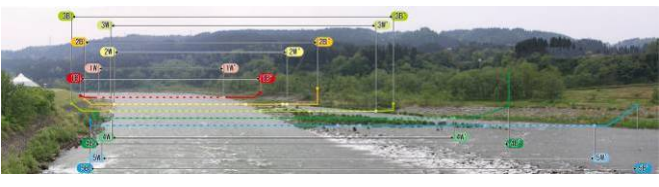
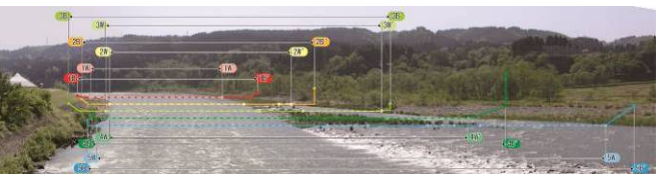
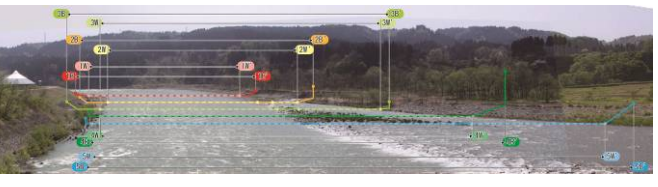

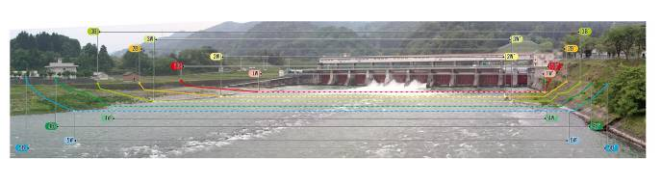


調査年度	平成 22 年度			
調査日	2010 年 11 月 22 日	2010 年 5 月 22 日	2010 年 5 月 21 日	2010 年 5 月 6 日
調査時流量	101.0m ³ /s	356.9m ³ /s	404.1m ³ /s	573.4m ³ /s
川井大橋	 W/B 0.69	 W/B 0.90	 W/B 0.91	 W/B 0.97
魚沼橋	 W/B 0.59	 W/B 0.68	 W/B 0.69	 W/B 0.76
栄橋	(11/30 まで橋梁工事のため景観撮影なし)			
妻有大橋	 W/B 0.50	 W/B 0.66	 W/B 0.69	 W/B 0.73
十日町橋	 W/B 0.56	 W/B 0.81	 W/B 0.84	 W/B 0.94
姿大橋	 W/B 0.82	 W/B 0.89	 W/B 0.90	 W/B 0.91
宮中橋 (下流)	 W/B 0.56	 W/B 0.65	 W/B 0.68	 W/B 0.78
宮中橋 (上流)	 W/B 0.53	 W/B 0.76	 W/B 0.76	 W/B 0.83

表 3. 1. 4-3 景観調査結果から算出した W/B

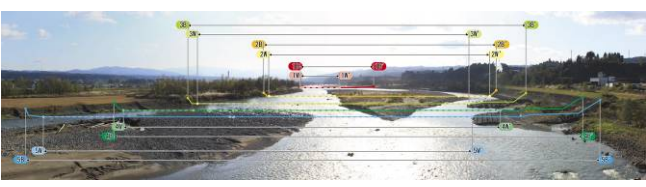
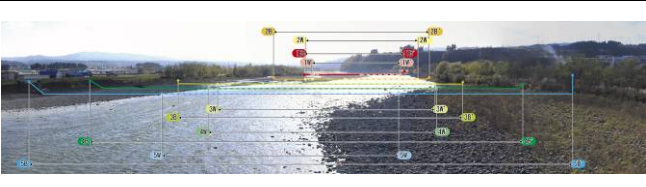
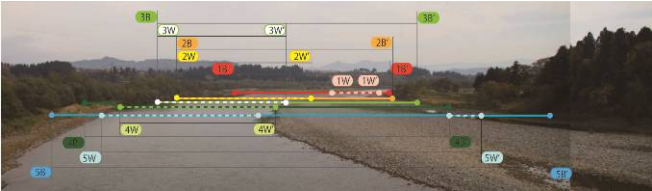
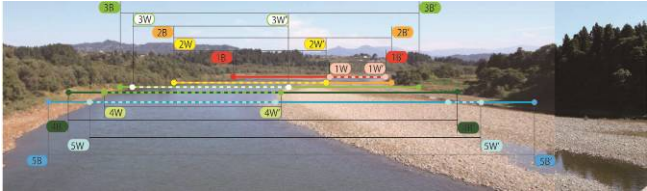
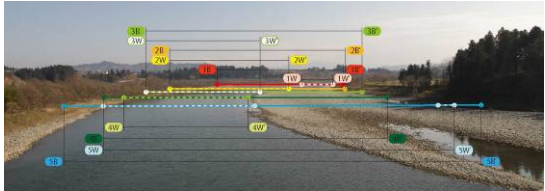
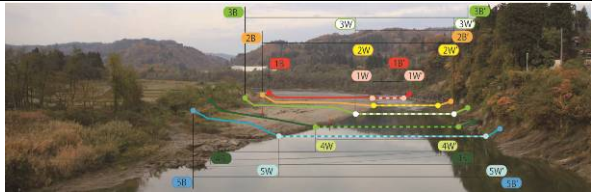
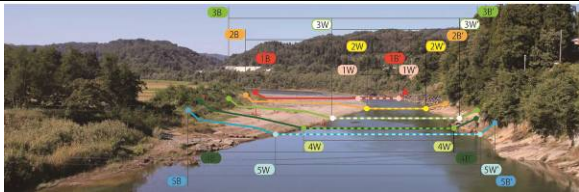
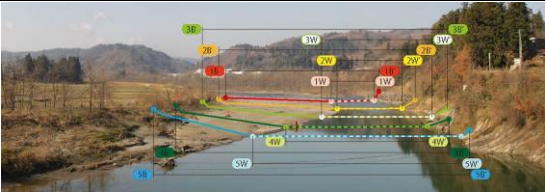
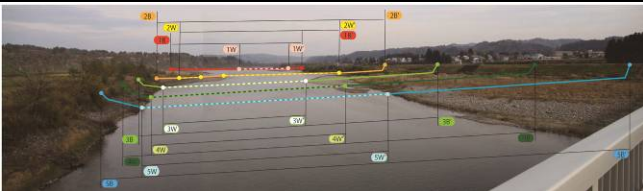
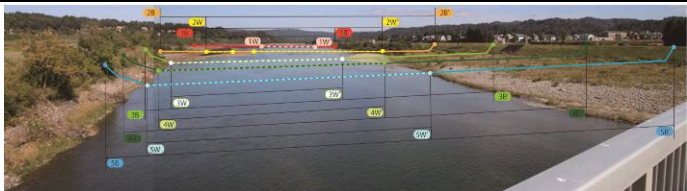
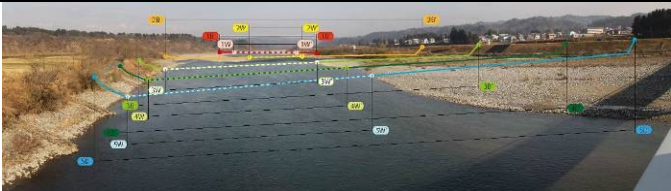
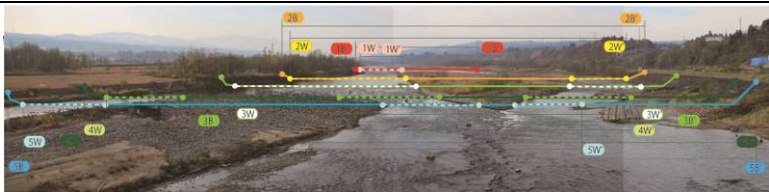
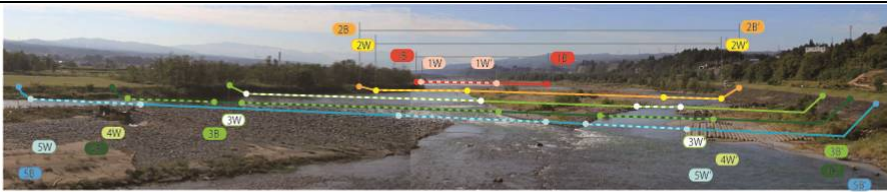
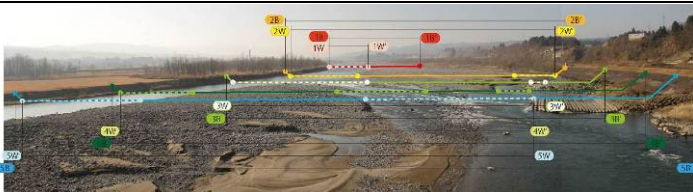

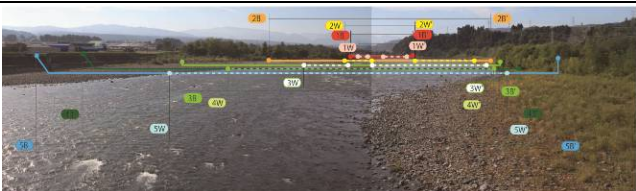
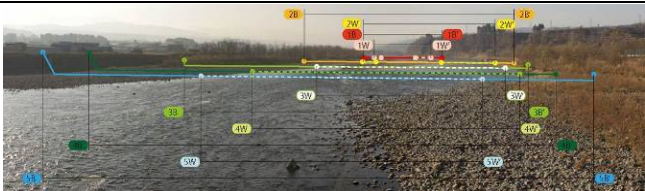
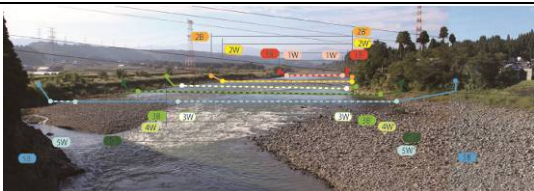
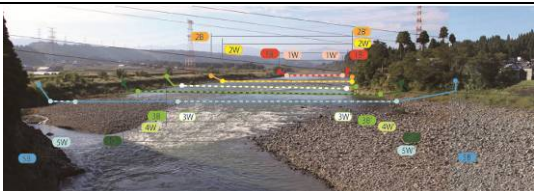
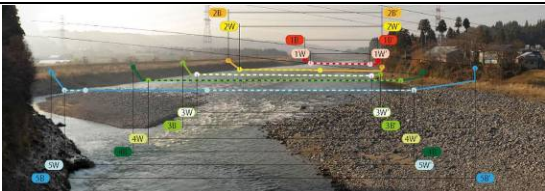
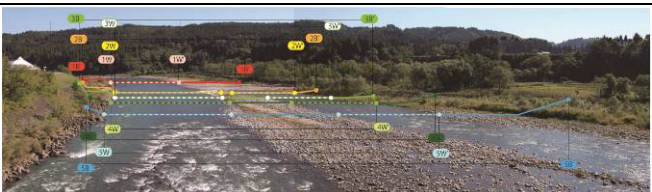
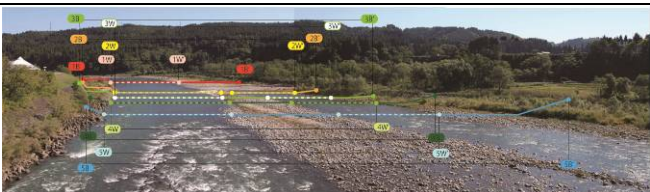
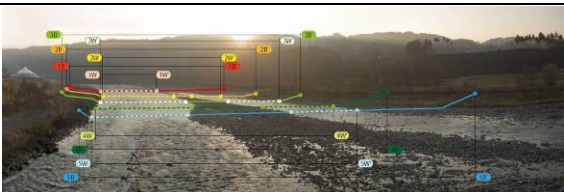
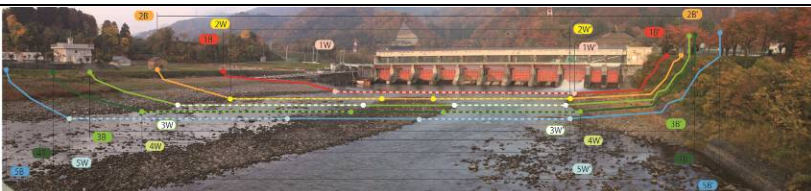
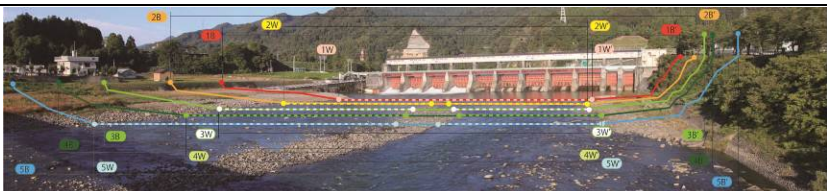

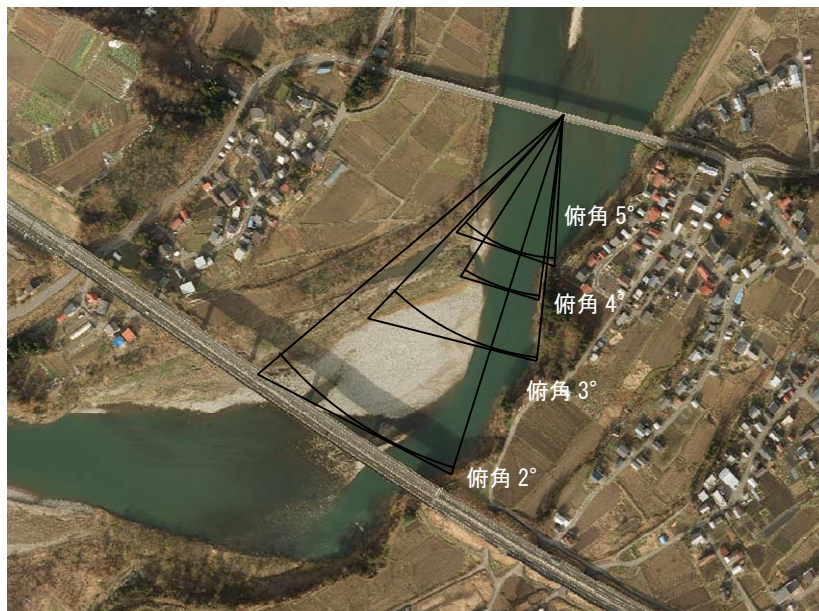
調査年度	平成 23 年度			
調査日	2011 年 11 月 17 日	2011 年 6 月 22 日	2011 年 10 月 9 日	2011 年 10 月 12 日
調査時流量	50.6m ³ /s	52.9m ³ /s	80.9m ³ /s	81.1m ³ /s
川井大橋	 W/B 0.46	 W/B 0.48	 W/B 0.51	 W/B 0.51
	 W/B 0.43	 W/B 0.45	 W/B 0.44	 W/B 0.44
米橋	 W/B 0.50	 W/B 0.50	 W/B 0.50	 W/B 0.50
	 W/B 0.47	 W/B 0.47	 W/B 0.50	 W/B 0.50
妻有大橋	 W/B 0.51	 W/B 0.51	 W/B 0.56	 W/B 0.56
	 W/B 0.72	 W/B 0.73	 W/B 0.78	 W/B 0.78
姿大橋	 W/B 0.54	 W/B 0.52	 W/B 0.58	 W/B 0.58
	 W/B 0.50	 W/B 0.52	 W/B 0.56	 W/B 0.56
宮中橋 (下流)				
宮中橋 (上流)				

表 3. 1. 4-4 景観調査結果から算出した W/B

調査年度	平成 24 年度		平成 25 年度
調査日	2012 年 11 月 13 日	2012 年 10 月 16 日	2013 年 12 月 5 日
調査時流量	40.6m ³ /s	60.7m ³ /s	42.2m ³ /s
川井大橋	 W/B 0.43	 W/B 0.48	 W/B 0.46
魚沼橋	 W/B 0.44	 W/B 0.43	 W/B 0.45
栄橋	 W/B 0.47	 W/B 0.49	 W/B 0.44
妻有大橋	 W/B 0.44	 W/B 0.47	 W/B 0.40
十日町橋	 W/B 0.49	 W/B 0.53	 W/B 0.45
姿大橋	 W/B 0.69	 W/B 0.75	 W/B 0.72
宮中橋 (下流)	 W/B 0.46	 W/B 0.56	 W/B 0.48
宮中橋 (上流)	 W/B 0.51	 W/B 0.55	 W/B 0.41

2) 航空写真

航空写真より、西倉橋の上流の狭窄部が湾曲しており、河川景観が悪くなる可能性があったため、3.1.4 (1) 1) と同様の方法でW/Bを算定した。西倉橋におけるW/B算出位置を図3.1.4-3に示す。



注) 俯角 1° は河道が蛇行し見通し範囲外になるため対象外とした。

図 3.1.4-3 空中写真からの西倉橋におけるW/B算出

宮中取水ダム放流量と、W/Bの算出結果を表3.1.4-5に示す。西倉橋地点では、宮中取水ダム放流量 $40\text{m}^3/\text{s}$ 以上あれば、 $W/B \geq 0.5$ (>0.2) となることが確認された。

表 3.1.4-5 空中写真から算出したW/B (西倉橋)

宮中取水ダム 放流量 (m^3/s)	空中写真撮影日	W/B
42.2	平成 25 年 12 月 9 日	0.56
42.7	平成 24 年 11 月 16 日	0.60
51.3	平成 23 年 11 月 18 日	0.57
52.3	平成 22 年 12 月 2 日	0.58
64.2	平成 24 年 10 月 13 日	0.57
83.0	平成 23 年 10 月 12 日	0.59
72.9	平成 22 年 12 月 6 日	0.70
99.5	平成 22 年 11 月 27 日	0.68

(2) 評価及び考察

河川景観については、景観調査及び空中写真を用いたW/Bの算出結果から、宮中取水ダム放流量 $40\text{m}^3/\text{s}$ 以上でいずれの地点においても $W/B=0.4$ 以上となり、 $W/B=0.2$ を上回ることが確認された。

このため、河川景観については宮中取水ダムの放流量が $40\text{m}^3/\text{s}$ 以上確保されることにより、水量感を持った河川景観が形成されると考える。

3.2.1 魚類の生息及び遡上降下

魚類については、提言時に「信濃川中流域では、減水による影響により、アユやサケ等の生息が困難となり本来の魚類相ではなくなっているのではないか。」とされ、「減水区間では、魚類の全体の個体数が少なく、特に冷水性種は種数及び個体数が少ない傾向が確認された。」という課題が示された。

そこで、魚類の生息状況、魚類の生息場(滞筋)の状況、アユの生息・生育状況、サケの遡上状況等を整理し、魚類の生息環境、移動環境に対する放流量の変化の影響について検討を行った。

3.2.1.1 魚類の生息状況

試験放流前後の魚類確認状況について空間的に整理し、試験放流の実施期間の魚類の生息状況の変化を確認した。また、統計解析により魚類の種組成の空間的な状況把握を行った。

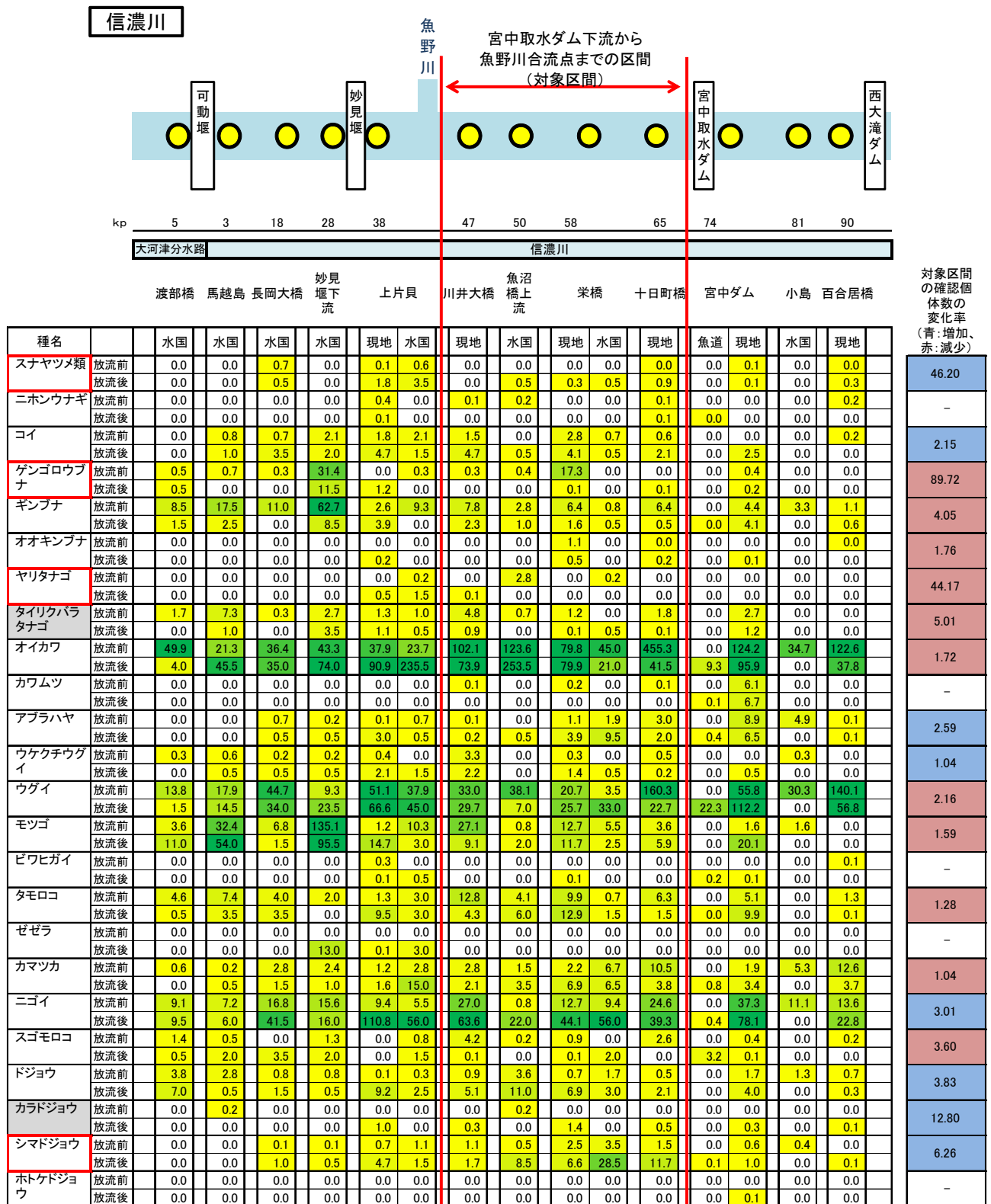
(1) 魚類の分布及び確認数の変化

現地調査で確認された種に対し、周辺の河川水辺の国勢調査の結果及び試験放流期間中の調査の結果を用い、試験放流前後における調査1日あたりの確認個体数の変化を整理した。

また、対象区間内4地点の調査1日あたりの確認個体数の平均値を求め、試験放流前後(試験放流前：平成9年～平成21年、試験放流後：平成22年～平成26年)の平均値の大きい値から小さい値を除して変化率を算出した。

ただし、対象区間内4地点の調査1日あたりの確認個体数の合計値が1.0個体/日に満たないものは偶発的な確認である可能性が高いことから、変化率の算出から除外した。

これらの整理結果を図3.2.1-1に示す。



※表中の数字は確認個体数の調査1日あたりの平均値を示す。なお、網掛けは、確認個体数を黄色(0個体:無色)～緑色(50個体以上)のグラデーションで示した。

■ は、国外移動の外来種(「外来種ハンドブック」(2002年、日本生態学会)の掲載種)を示す。

対象区間の確認個体数の変化率は、減水区間(川井大橋～十日町橋)の試験放流後の調査1日あたりの確認個体数の変化率を示し、増加したものは青色、減少したものは赤色で示した。また、変化率の大きい上位5種を赤枠で囲んで示す。

なお、偶発的な確認のみの種を除くため、対象区間の調査1日あたりの確認個体数の合計が1.0に満たない種は変化率の算出から除外した。

図 3.2.1-1(1) 魚類の流程分布(1)

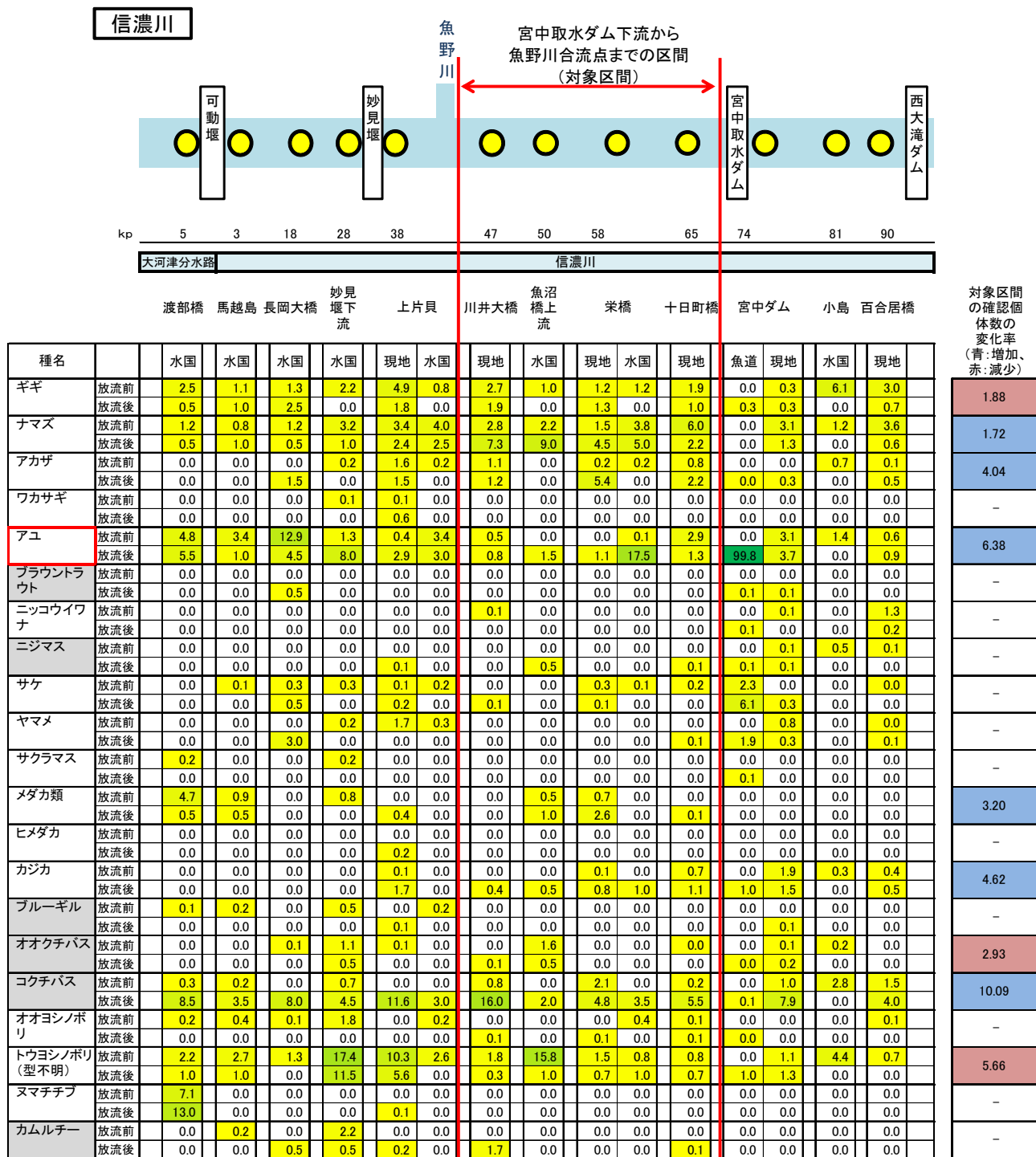


図 3.2.1-1(2) 魚類の流程分布(2)

試験放流前後の変化率の大きなもののうち、外来種（「外来種ハンドブック」（2002 年、日本生態学会）の掲載種）を除いた上位 5 種は、スナヤツメ類、ゲンゴロウブナ、ヤリタナゴ、シマドジョウ、アユであり、このうち大きく増加した種はスナヤツメ類、シマドジョウ、アユの 3 種、大きく減少した種はゲンゴロウブナ、ヤリタナゴの 2 種であった。これらの 5 種の確認環境の状況を図 3. 2. 1-1 に示し、確認状況及びその変化について下記に考察した。

イ) スナヤツメ類（増加）

スナヤツメ類は、砂泥中に生息し、砂礫底で産卵する¹⁾。現地でも比較的河床材料の粒径が小さく、流れが緩やかな地点で確認されている。

試験放流前は川井大橋、栄橋で確認されていなかったが、試験放流後は魚沼橋上流、栄橋で新たに確認され、十日町橋で確認数が増加しており、試験放流の結果、対象区間において本種の生息に適する比較的流れが緩く河床材料の粒径が小さい環境が増加したものと考えられる。

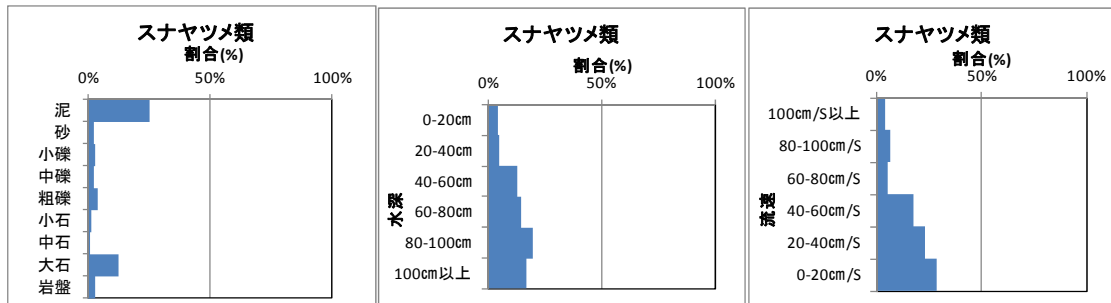


図 3. 2. 1-2 (1) 増減種の確認環境(スナヤツメ類)

ロ) シマドジョウ（増加）

シマドジョウは、仔稚魚が砂底、成魚が砂礫底ないし砂底に生息する¹⁾。現地でも、比較的河床材料の粒径が小さく、流れが緩やかな地点で確認されている。

試験放流前後とも、長岡大橋から百合居橋までの広い範囲で確認されているが、調査日数あたりの確認個体数が上片貝、魚沼橋上流、栄橋、十日町橋で大きく増加している。

本種の増加からは、試験放流の結果、対象区間においてワンド等の面積が増加し、本種の生息に適する比較的流れが緩く河床材料の粒径が小さい環境が増加したものと考えられる。

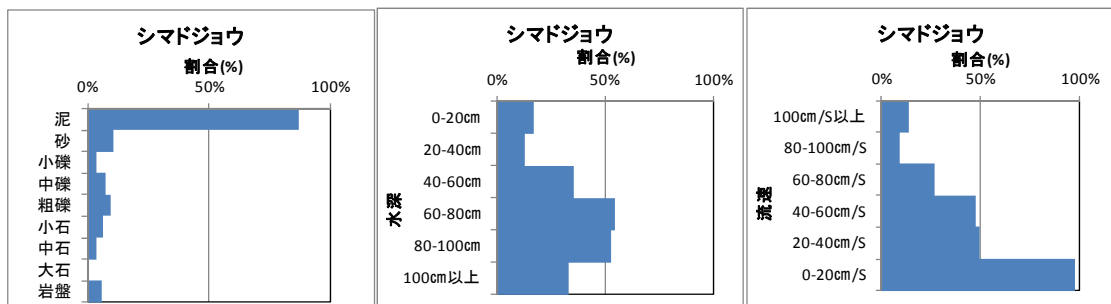


図 3. 2. 1-2 (2) 増減種の確認環境(シマドジョウ)

ハ) アユ (増加)

アユは回遊魚であり、体長 8cm から 9cm の個体が流速 50～70cm/s で最大の泳力を発揮するとされる³⁾。現地でも、比較的流れが速く、浅い早瀬の地点で確認されている。

本種は、漁協による放流が行われているが、宮中ダム魚道では天然のアユも確認されている。試験放流前後とも、渡部橋から百合居橋の広い範囲で確認されているが、調査日数あたりの確認個体数が栄橋で大きく増加している。

本種の増加からは、試験放流の結果、対象区間全体において流量が増加し、本種の遡上に適する水深と流れのある環境が増加した可能性がある。

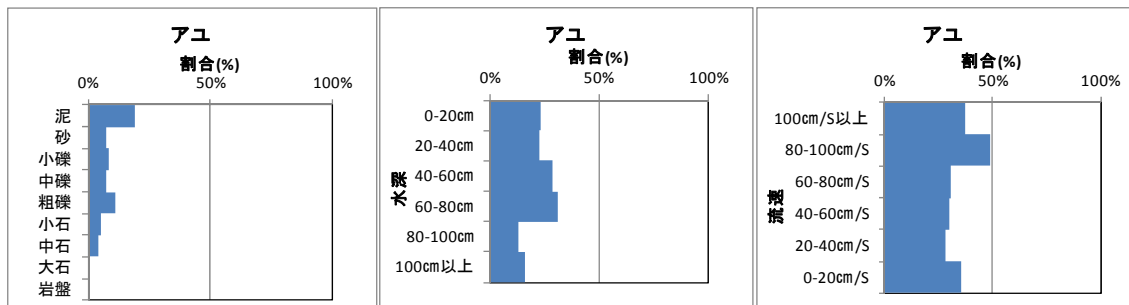


図 3.2.1-2(4) 増減種の確認環境(アユ)

ニ) ゲンゴロウブナ (減少)

ゲンゴロウブナは、主に下流の淵や堰堤による止水域などに生息し、流れの緩やかな表層を遊泳する¹⁾。現地でも比較的流れの緩やかな地点で確認されている。

試験放流前後とも、渡部橋から宮中ダムの広い範囲で確認されているが、調査日数あたりの確認個体数が川井大橋、魚沼橋上流で大きく減少している。

本種の減少からは、試験放流の結果、対象区間全体において流速が増加し、本種の生息に適した流れの緩やかな淵等が減少したものと考えられる。

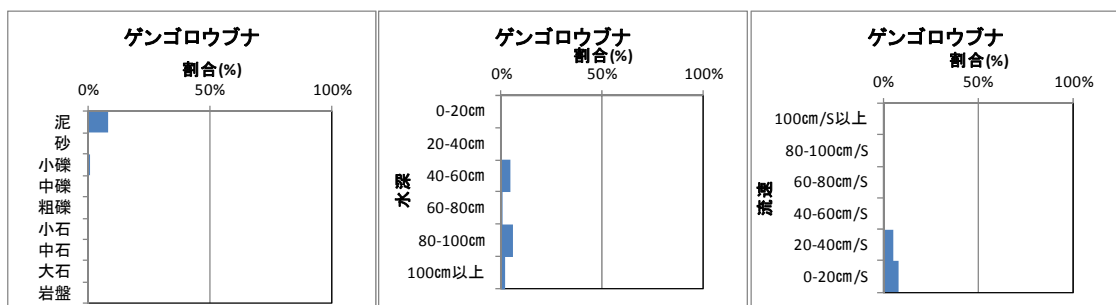


図 3.2.1-2(6) 増減種の確認環境(ゲンゴロウブナ)

ホ) ヤリタナゴ (減少)

ヤリタナゴは、河川の下流域、湖沼・池沼、灌漑用水路等の淀んだ場所からやや流れのある場所に生息する¹⁾。現地でも比較的流れの緩やかな地点で確認されている。

試験放流前には上片貝から栄橋の範囲で確認されていたが、試験放流後に魚沼橋上流、栄橋で確認されていない。

本種の減少からは、試験放流の結果、対象区間全体において流速が増加し、本種の生息に適した流れの緩やかな淵や平瀬が減少したものと考えられる。

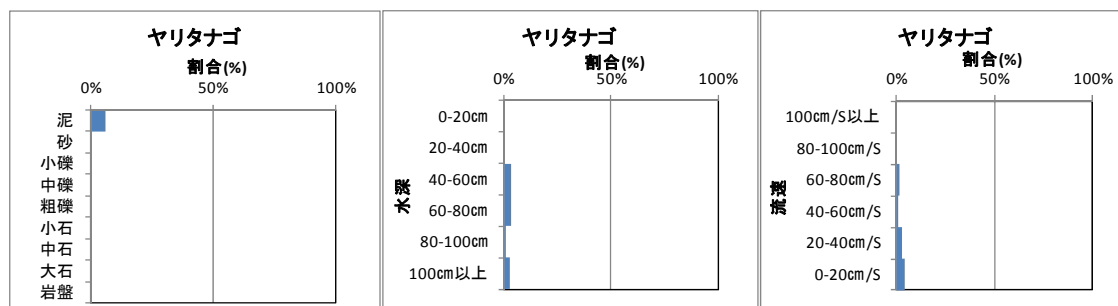


図 3. 2. 1-2 (8) 増減種の確認環境(ヤリタナゴ)

(2) 試験放流前後の種組成の変化

平成 14 年度の河川水辺の国勢調査の結果および、平成 24 年の現地調査並びに河川水辺の国勢調査の結果から、TWINSpan 法を用いて試験放流前後における種組成の変化を考察した。

TWINSpan 法の詳細を、以下に示す。

【TWINSpan 法】

TWINSpan 法とは、生物種の各地点における出現状況から適切な指標種を抽出し、その出現地点、非出現地点を 2 分割しながら分類を進めることを基本とする手法である。

本解析に用いたデータ及び解析条件は以下のとおりである。

〈解析に用いたデータ〉

- ・試験放流に関する現地調査
- ・上記現地調査期間に同年に実施されている河川水辺の国勢調査(平成 14 年、平成 24 年)

〈解析上の設定条件〉

- ・cut levels (分割を決定するために考慮する種の数量的差異の区分) :0, 10, 100
(種の出現状況を個体数によって、0、1～9 個体、10～99、100 個体以上の 4 つの区分に分けたことを示す。)
- ・Minimum group size for division (分割する最小グループ数) = 5
- ・Maximum number of indicators per division (一度の分割における指標種の最大数) =5
- ・Maximum level of divisions (最大分割数) =6
- ・Maximum number of species in final table (用いる種数の最大値) =500

〈その他の条件〉

- ・「～科」、「～属」、「～類」のように複数種を含む可能性があるものについては、これを指標種として類型化された場合に解釈が困難になると考えられるものの、現地調査の結果では同定の難しい仔魚が多く含まれる種類があることから調査結果をそのまま解析に用いた。
- ・キンギョとコイ(飼育品種)については、その分布に人為的な影響が排除できないため解析対象魚種から除外した。

平成 14 年度の解析結果では、対象区間の調査地点である十日町橋が宮中取水ダムより上流の百合居橋と同じ区分となり、魚野川合流後の上片貝、長岡大橋、渡部橋と宮中取水ダムより上流の小島が同じ区分となる等、同じ区分となった地点が空間的な整合がとれない状況となっていることが分かった。

一方、平成 24 年度の解析結果では、対象区間の調査地点の魚沼橋上流が妙見堰下流等と同じ区分となっているが、対象区間の調査地点の十日町橋、栄橋が同じ区分となる等空間的な整合が取れる状況に変化してきており、より良好な環境になったといえる。



平成 14 年度

河川		地点	調査種別	区分
信濃川	上流	百合居橋	現地	H14区分1
		十日町橋	現地	H14区分2
		小島	水国	
		上片貝	水国	
		長岡大橋	水国	
		渡部橋	水国	H14区分3
		栄橋	水国	
		妙見堰下流	水国	H14区分4
		馬越島	水国	
魚野川	下流	旭橋	水国	H14区分4
	下流	大和橋	水国	



平成 24 年度

河川		地点	調査種別	区分
信濃川	上流	百合居橋	現地	H24区分1
		宮中ダム	現地	H24区分2
		十日町橋	現地	
		栄橋	水国	
		栄橋	現地	
		川井大橋	現地	H24区分3
		上片貝	現地	
		魚沼橋上流	水国	H24区分3
		上片貝	水国	
		妙見堰下流	水国	H24区分4
		長岡大橋	水国	
		馬越島	水国	H24区分4
		渡部橋	水国	
魚野川	下流	大和橋下流	水国	H24区分5
	上流	福山橋	現地	
	上流	宇賀地橋	現地	
	下流	八郎場	水国	

図 3.2.1-3 TWINSpan 法による調査地点の区分

3.2.1.2 魚類の生息場（滞筋）の状況

宮中取水ダムからの放流量の変化に対する滞筋の変化を確認し、「対象区間」における魚類の移動環境の確保について検討を行った。

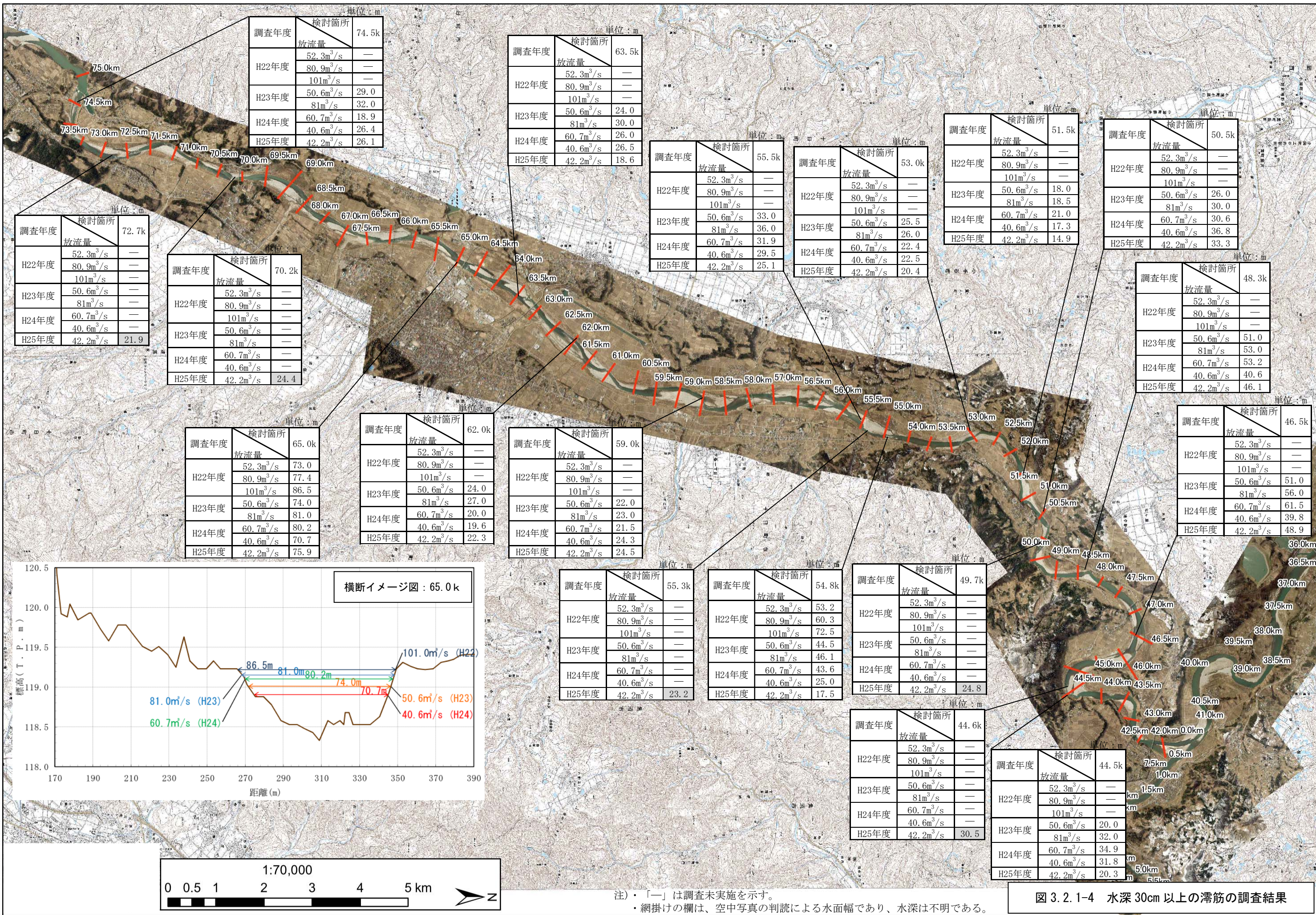
(1) 宮中取水ダムからの放流量と滞筋

滞筋に関する試験放流期間の現地調査の結果を、図 3.2.1-4 に示す。

40.6～101m³/s で放流している場合、水深 30cm 以上の滞筋幅は 14.9～86.5m で連続していることが確認された。

さらに、出水により河道が変化している可能性があるため、空中写真からの判読により水面幅が狭い箇所を抽出し、調査地点に加えて水面幅の計測を行った。

水面幅が狭い箇所は 5 箇所抽出され、それぞれの水面幅は平成 25 年度の 42.2m³/s 放流時の空中写真の判読では 21.9～30.5m であった。この値は現地調査により滞筋幅を確認した地点の滞筋幅と同程度であることから、空中写真の判読によって確認された水面幅においても 30cm の水深が確保されていると推察される。



(2) 回遊魚の生息状況

減水区間において既往調査で確認されている魚類のうち、河川の中流域を含む範囲を移動する種の確認状況は、図 3.2.1-5 に示すとおりである。現地調査で確認された種に関し、周辺の河川水辺の国勢調査の結果及び試験放流期間中の調査の結果を用い、各年度における調査日数あたりの確認個体数の変化を整理した。また、渡部橋～百合居橋までの調査日数あたりの確認個体数の平均値および、宮中取水ダムの魚道調査における調査日数あたりの確認個体数をもとに、試験放流前後（試験放流前：平成 9 年～平成 21 年、試験放流後：平成 22 年～平成 26 年）の変化率を算出した。変化率は、試験放流前後の調査日数あたりの確認個体数の平均値の大きい値を小さい値で除し、変化の程度を示した。

イ) ニホンウナギ

ニホンウナギは晩秋から春季がシラスの遡上期であり、その後、成長したクロコが遡上する。

1), 2), 4)

調査日数あたりの確認個体数の平均の変化率を見ると放流前に比べて放流後の方が確認個体数が減少しているものの、試験放流後に宮中取水ダムの魚道における遡上が確認されていることから、試験放流後においてニホンウナギの上下流間の移動は確保されているといえる。

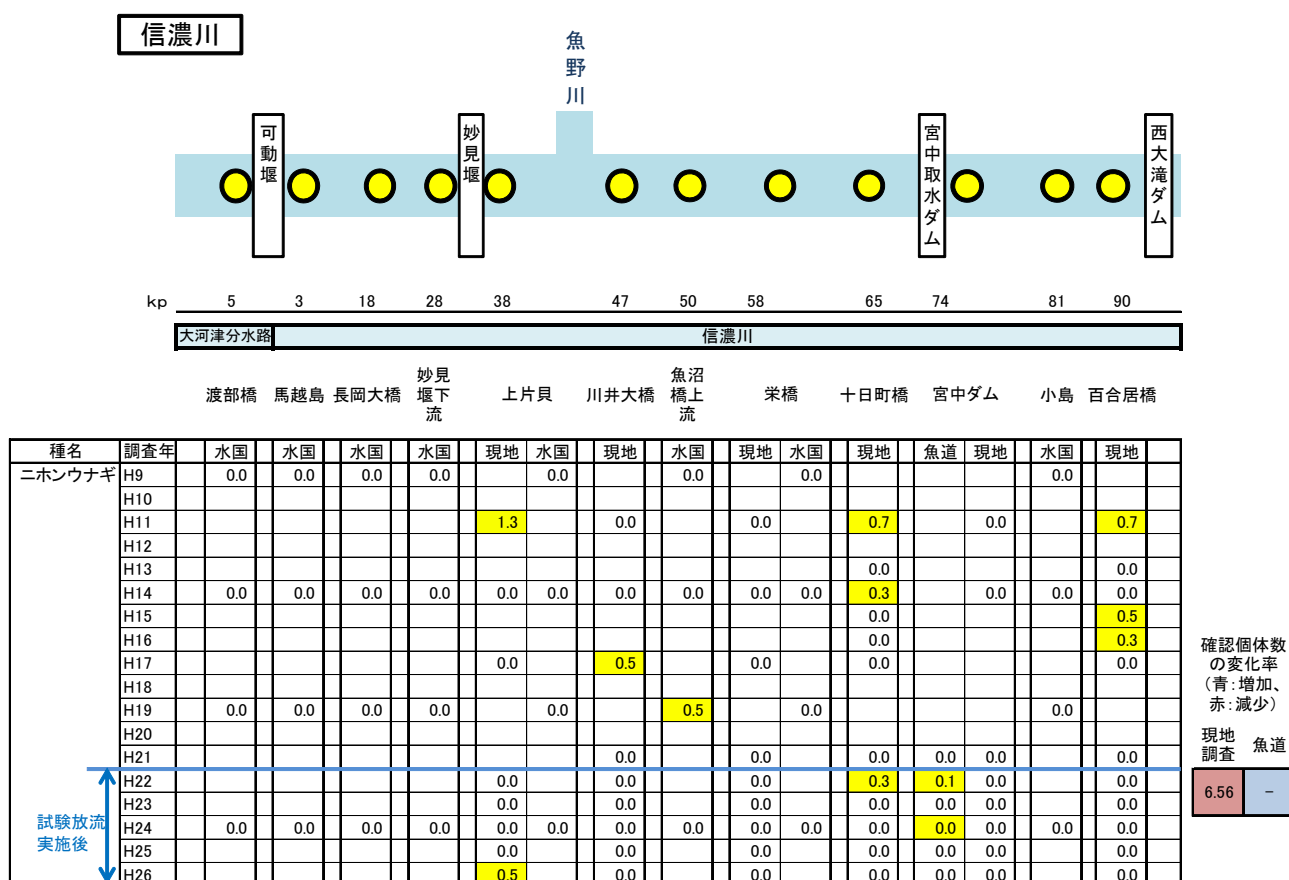


図 3.2.1-5(1) 回遊魚の確認状況(1) (ニホンウナギ)

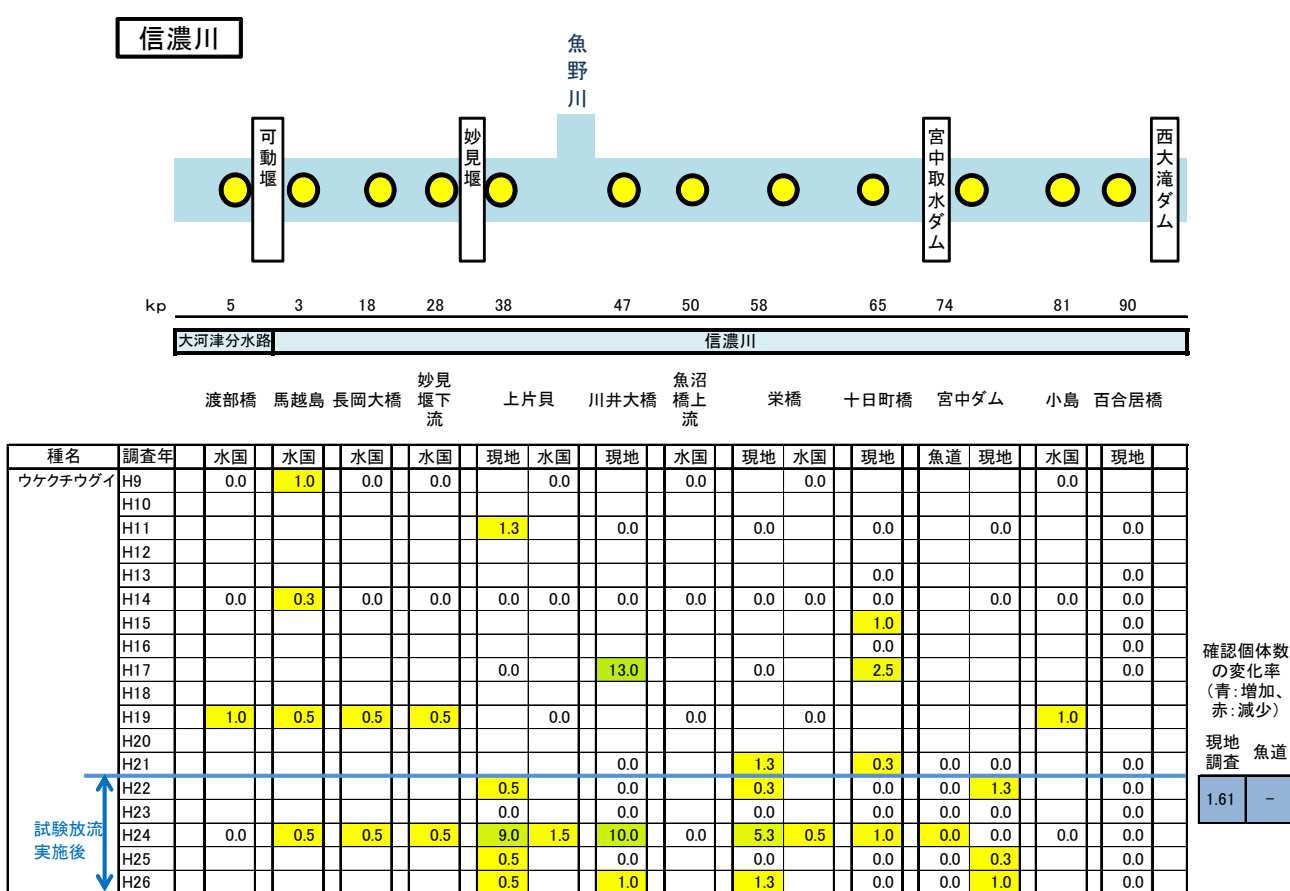
ロ) ウケクチウグイ

ウケクチウグイは初夏季が遡上期（産卵期）である。²⁾

本種の試験放流前と試験放流後の確認状況を比べると、試験放流前から流程分布に変化はなく、宮中取水ダム上流から信濃川下流まで継続して確認されている。

調査日数あたりの確認個体数の平均の変化率を見ると、試験放流前に比べて試験放流後に確認個体数が増加している。また、試験放流後は対象区間の各地点でも確認が見られており、平成24年度の河川水辺の国勢調査では、妙見堰下流においても縦断的に確認されている。

このことから、試験放流後においてウケクチウグイの上下流間の移動は確保されているといえる。



※表中の数字は確認個体数の調査1日あたりの平均値を示す。なお、“0”は調査は実施しているが個体が確認されなかったことを、空欄は調査未実施を示す。調査1日あたりの確認個体数の変化率は、試験放流前後の調査1日あたりの確認個体数の変化率を示し、増加したものは青色、減少したものは赤色で示した。また、放流前もしくは放流後に確認されていない場合は“-”とし、放流後にのみ確認された場合は青、放流前にのみ確認された場合は赤で示した。

図 3.2.1-5(2) 回遊魚の確認状況(2) (ウケクチウグイ)

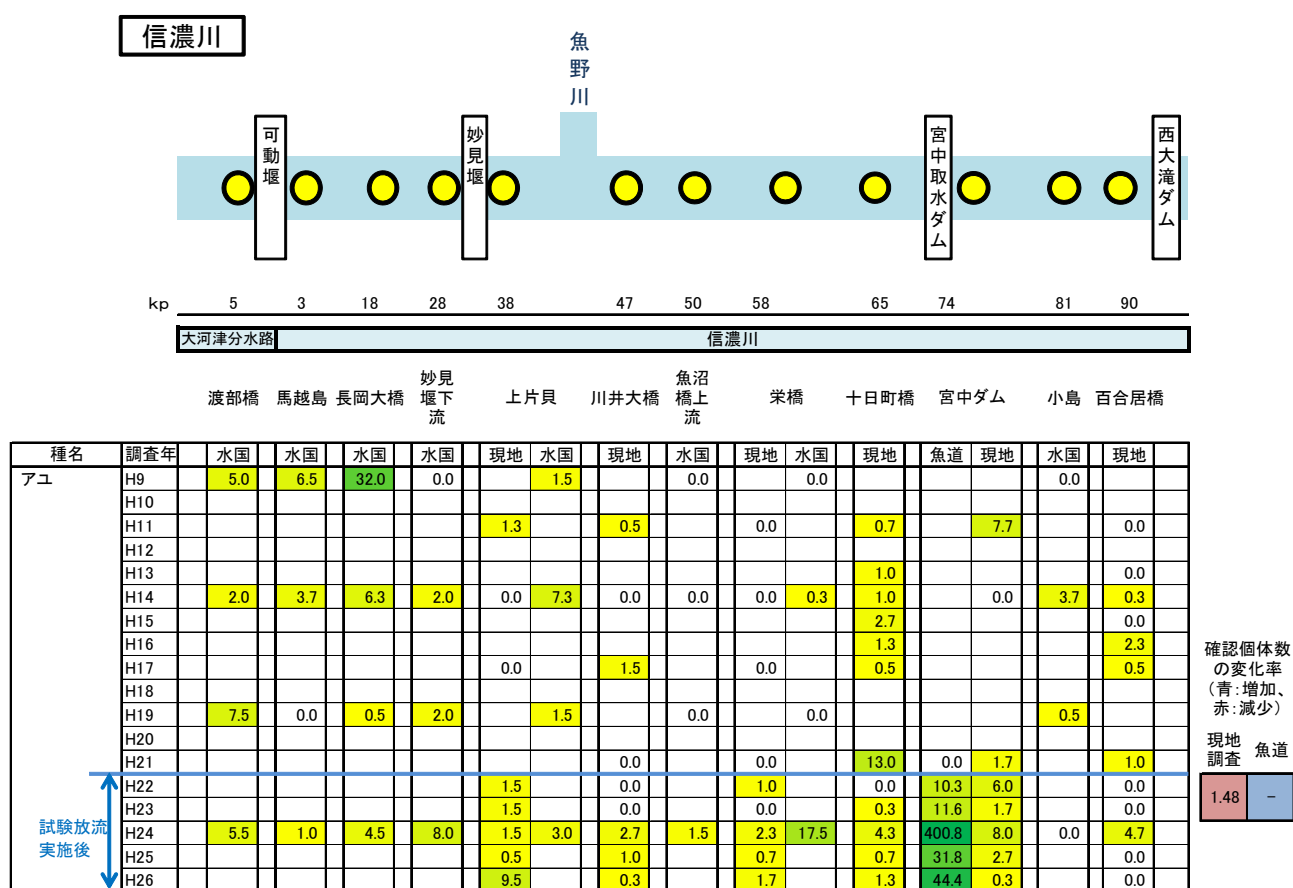
ハ) アユ

アユは、早春から初夏が稚魚の遡上期であり、晩夏から初冬が産卵のため親魚が下流域に下る時期である。^{1), 2)}

本種の試験放流前と試験放流後の確認状況を比べると試験放流前から流程分布に変化はなく、百合居橋から渡部橋まで継続して確認されている。

調査日数あたりの確認個体数の平均の変化率を見ると、試験放流前に比べて試験放流後に確認個体数がやや減少しているが、対象区間の各地点で確認されており、平成 24 年度の河川水辺の国勢調査では、妙見堰下流においても縦断的に確認されている。

このことから、試験放流後においてアユの上下流間の移動は確保されているといえる。



※表中の数字は確認個体数の調査1日あたりの平均値を示す。なお、“0”は調査は実施しているが個体が確認されなかったことを、空欄は調査未実施を示す。調査1日あたりの確認個体数の変化率は、試験放流前後の調査1日あたりの確認個体数の変化率を示し、増加したものは青色、減少したものは赤色で示した。また、放流前もしくは放流後に確認されていない場合は“-”とし、放流後にのみ確認された場合は青、放流前にのみ確認された場合は赤で示した。

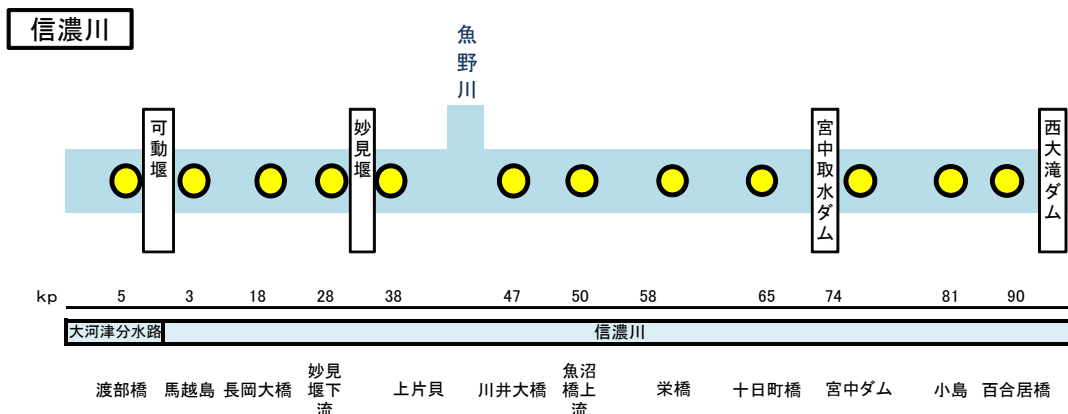
図 3. 2. 1-5 (3) 回遊魚の確認状況 (3) (アユ)

ニ) サケ

サケは、9～11月が親魚の遡上期であり、2～4月が幼魚の降海期である。²⁾

本種の試験放流前と試験放流後の確認状況を比べると、試験放流前後で大きな変化は確認できず、宮中取水ダム上流から信濃川下流まで継続して確認されている。

調査日数あたりの確認個体数の平均の変化率を見ると、試験放流前に比べて試験放流後に確認個体数がやや減少しているものの、試験放流後は宮中取水ダムの魚道における遡上が確認され、その遡上数が増加していることから、試験放流後においてサケの上下流間の移動は確保されているといえる。



種名	調査年	水国	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	魚道	現地	水国	現地
サケ	H9		0.0	0.0	1.0	0.0		0.0		0.0		0.0			0.0	
	H10						0.3		0.0		0.0		0.0	0.0		0.0
	H11															
	H12												1.0	0.5		0.0
	H13												0.3	1.6	0.0	0.3
	H14	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0
	H15												0.0	5.6		0.0
	H16												0.0	1.0		0.0
	H17					0.0		0.0		0.5		0.0	0.8		0.0	0.0
	H18														0.0	
	H19	0.0	0.0	0.0	0.5		0.0		0.0		0.0				0.0	
	H20															
	H21							0.0		0.7		0.0	5.7	0.0		0.0
	H22					0.0		0.0		0.0		0.0	2.4	0.0		0.0
	H23					0.0		0.3		0.3		0.0	2.5	0.0		0.0
	H24	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0
	H25					1.0		0.0		0.0		0.0	8.7	0.0		0.0
	H26					0.0		0.0		0.0		0.0	12.1	1.3		0.0

※表中の数字は確認個体数の調査1日あたりの平均値を示す。なお、“0”は調査は実施しているが個体が確認されなかったことを、空欄は調査未実施を示す。
調査1日あたりの確認個体数の変化率は、試験放流前後の調査1日あたりの確認個体数の変化率を示し、増加したものは青色、減少したものは赤色で示した。
また、放流前もしくは放流後に確認されていない場合は“-”とし、放流後にのみ確認された場合は青、放流前にのみ確認された場合は赤で示した。

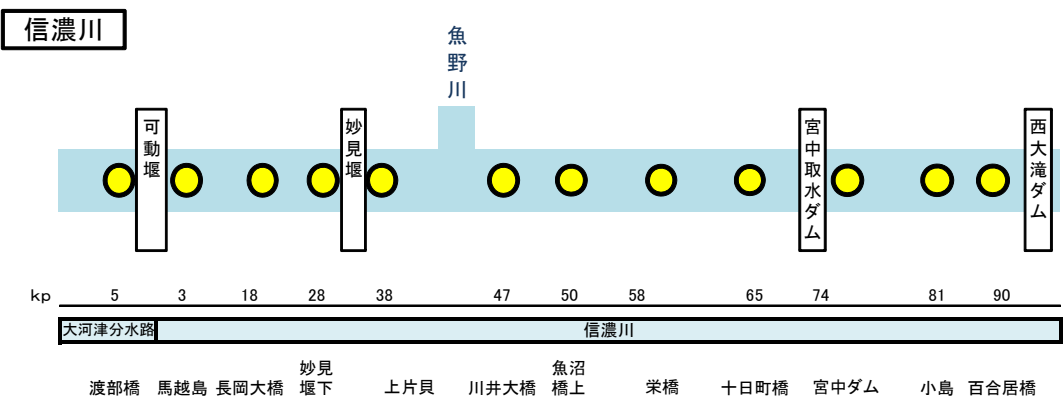
図 3. 2. 1-5 (4) 回遊魚の確認状況 (4) (サケ)

ホ) サクラマス

サクラマスは、雪解け期と秋季が親魚の遡上期であり、3～6月がスモルトの降海期である。¹⁾

本種は、試験放流前には信濃川中～下流（渡部橋～妙見堰下流）でのみ確認されていたが、平成24年度以降は宮中取水ダム魚道で確認されるようになった。

調査日数あたりの確認個体数は少ないものの、試験放流後に宮中取水ダムの魚道における遡上が確認されていることから、試験放流後においてサクラマスの上下流間の移動は確保されているといえる。



種名	調査年	水国	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	魚道	現地	水国	現地
サクラマス	H9	0.5	0.0	0.0	0.0		0.0		0.0		0.0					
	H10															
	H11					0.0		0.0			0.0		0.0			
	H12															
	H13												0.0	0.0		
	H14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	H15												0.0	0.0		
	H16												0.0	0.0		
	H17					0.0		0.0		0.0		0.0	0.0	0.0		
	H18												0.0	0.0		
	H19	0.0	0.0	0.0	0.5		0.0		0.0		0.0					
	H20															
	H21							0.0		0.0		0.0	0.0	0.0		
	H22					0.0		0.0		0.0		0.0	0.0	0.0		
	H23					0.0		0.0		0.0		0.0	0.0	0.0		
	H24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1			
	H25					0.0		0.0		0.0		0.0	0.0	0.3		
	H26					0.0		0.0		0.0		0.0	0.0	0.2		

※表中の数字は確認個体数の調査1日あたりの平均値を示す。なお、“0”は調査は実施しているが個体が確認されなかったことを、空欄は調査未実施を示す。
調査1日あたりの確認個体数の変化率は、試験放流前後の調査1日あたりの確認個体数の変化率を示し、増加したものは青色、減少したものは赤色で示した。
また、放流前もしくは放流後に確認されていない場合は“-”とし、放流後にのみ確認された場合は青、放流前にのみ確認された場合は赤で示した。

図 3. 2. 1-5 (5) 回遊魚の確認状況 (5) (サクラマス)

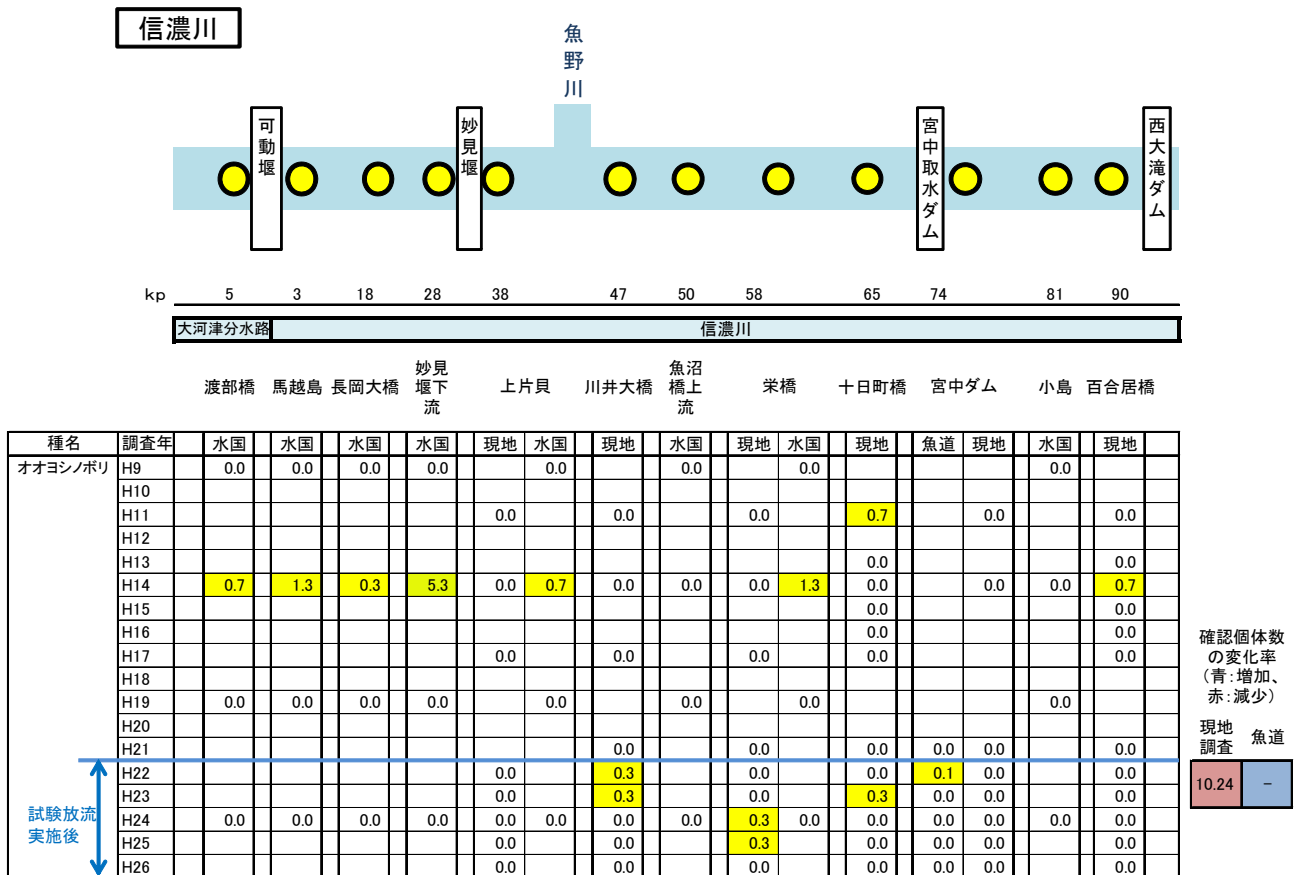
へ) ヨシノボリ類

ヨシノボリ類は、秋が幼魚の遡上期であり、夏が仔魚の降海期である。²⁾

- ・オオヨシノボリについては、試験放流後には魚野川合流点より下流で確認されていない。

調査日数あたりの確認個体数の平均の変化率を見ると試験放流前に比べて試験放流後に確認個体数は減少しているが、ほとんどの確認が 1.0 個体/日以下の確認である。また、試験放流後は対象区間の各地点で確認されており、宮中取水ダムの魚道を遡上する個体も確認されている。

このことから、試験放流後においてオオヨシノボリの上下流間の移動は確保されているといえる。

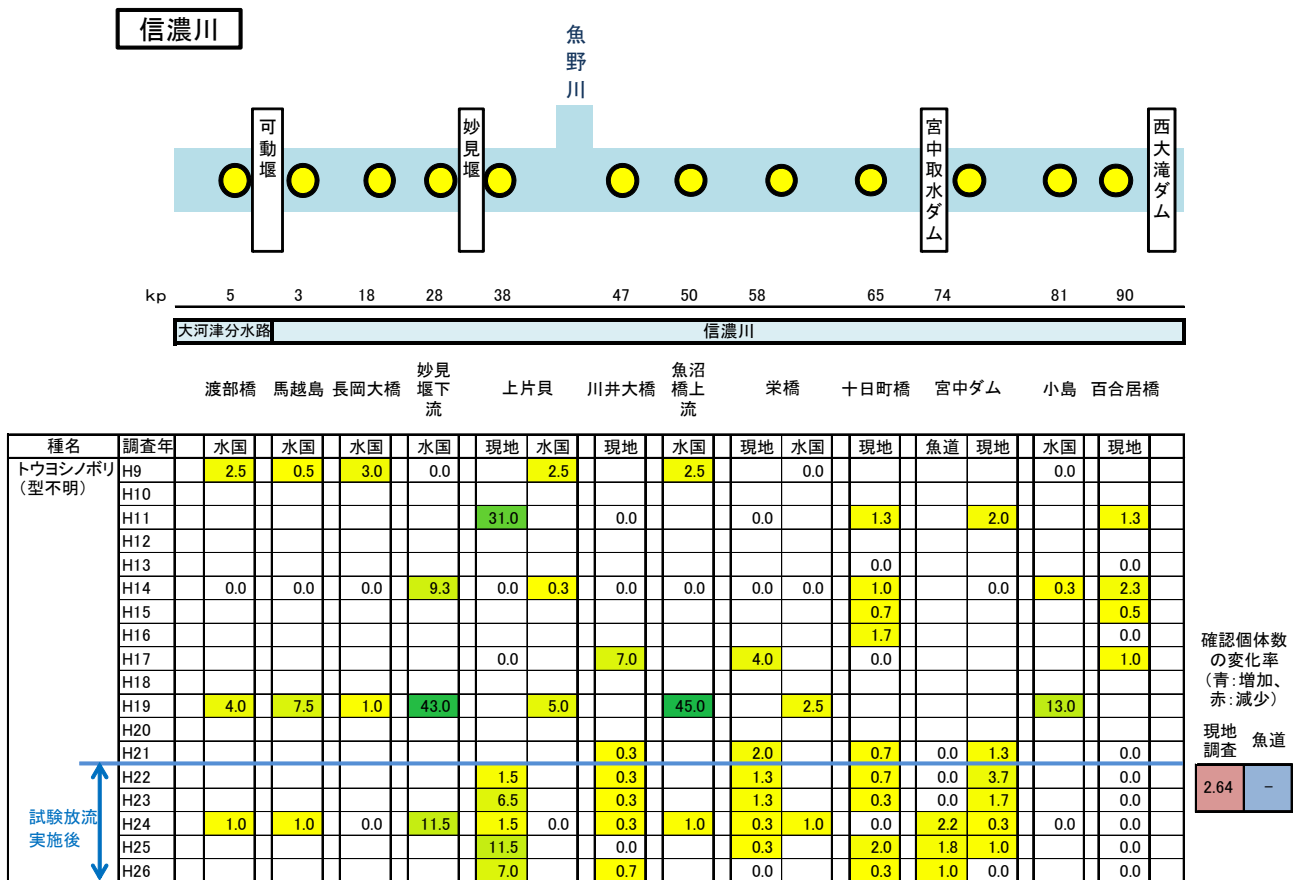


※表中の数字は確認個体数の調査1日あたりの平均値を示す。なお、“0”は調査は実施しているが個体が確認されなかったことを、空欄は調査未実施を示す。調査1日あたりの確認個体数の変化率は、試験放流前後の調査1日あたりの確認個体数の変化率を示し、増加したものは青色、減少したものは赤色で示した。また、放流前もしくは放流後に確認されていない場合は“-”とし、放流後にのみ確認された場合は青、放流前にのみ確認された場合は赤で示した。

図 3.2.1-5(6) 回遊魚の確認状況(6) (オオヨシノボリ)

トウヨシノボリ（型不明）の試験放流前と試験放流後の調査日数あたりの確認個体数の平均の変化率を見ると、試験放流前に比べて試験放流後に確認個体数が減少しているが、試験放流後は対象区間の各地点で確認されており、平成 24 年度の河川水辺の国勢調査では、妙見堰下流においても縦断的に確認されている。また、試験放流後において、宮中取水ダムの魚道を遡上する個体も確認されている。

このことから、試験放流後においてトウヨシノボリの上下流間の移動は確保されているといえる。



※表中の数字は確認個体数の調査1日あたりの平均値を示す。なお、“0”は調査は実施しているが個体が確認されなかったことを、空欄は調査未実施を示す。
調査1日あたりの確認個体数の変化率は、試験放流前後の調査1日あたりの確認個体数の変化率を示し、増加したものは青色、減少したものは赤色で示した。
また、放流前もしくは放流後に確認されていない場合は“-”とし、放流後にのみ確認された場合は青、放流前にのみ確認された場合は赤で示した。

図 3. 2. 1-5 (6) 回遊魚の確認状況 (6) (トウヨシノボリ (型不明))

3.2.1.3 アユの生息・生育状況

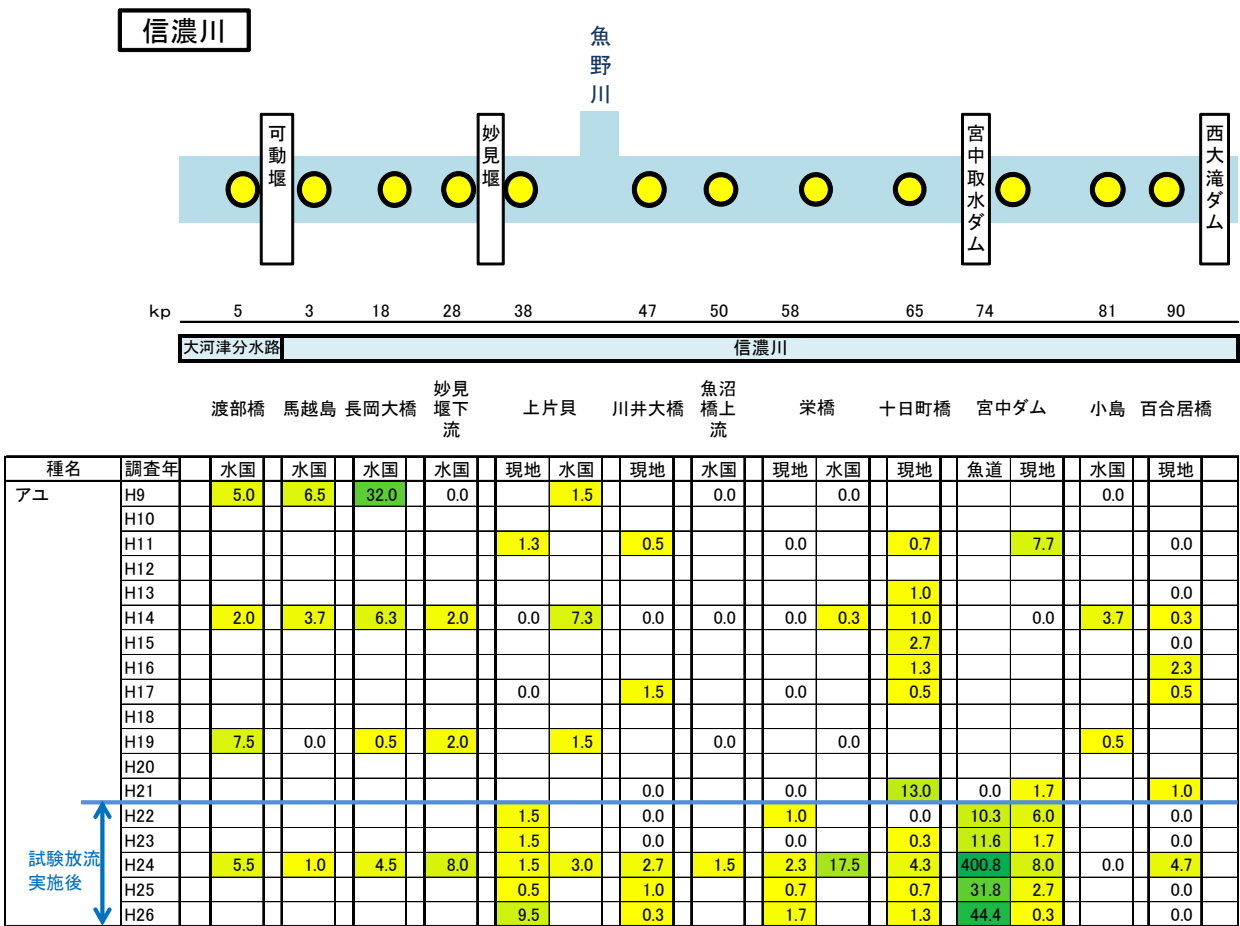
試験放流期間中の対象区間のアユの生息状況を踏まえ、試験放流のアユの生息環境に対する影響について検討を行った。

(1) アユの生息・生育状況の解析

1) アユの生息環境

現地調査におけるアユの確認状況は、図 3.2.1-6 に示すとおりである。

対象区間のうち十日町橋では、試験放流の実施前と期間中で、アユの確認状況に変化はないが、栄橋、川井大橋では、試験放流期間中は確認される頻度や個体数が増加している。また、魚沼橋上流では、試験放流前にはアユは確認されていないが、試験放流期間中には確認されている。なお、試験放流期間中に上片貝、栄橋、十日町橋、宮中ダム直下流で実施した食み跡調査においてアユの食み跡が確認されている。



※表中の数字は確認個体数の調査1日あたりの平均値を示す。なお、“0”は調査は実施しているが個体が確認されなかったことを、空欄は調査を実施していないことを示す。

図 3.2.1-6 現地調査におけるアユの確認状況

試験放流期間 5 年間の現地調査の結果より、アユが確認された時の河川環境（流速、水深、水温）を整理したものを、図 3. 2. 1-7～9 に示す。

流速については、遡上期は多様な流速の箇所で確認されているが、成魚期、産卵期ではおおむね 60cm/s より遅い流速で確認されている。

文献によれば、遡上期のアユの体長に近い 5～9cm のアユが最大の泳力を発揮する流速は 30～70cm/s³⁾ とされているが、この値より速い流速で多く確認されている。一方、産卵場における流速については、60cm/s²⁾ あるいは 1m 以下⁵⁾ とされており、現地調査の結果とおおむね一致している。

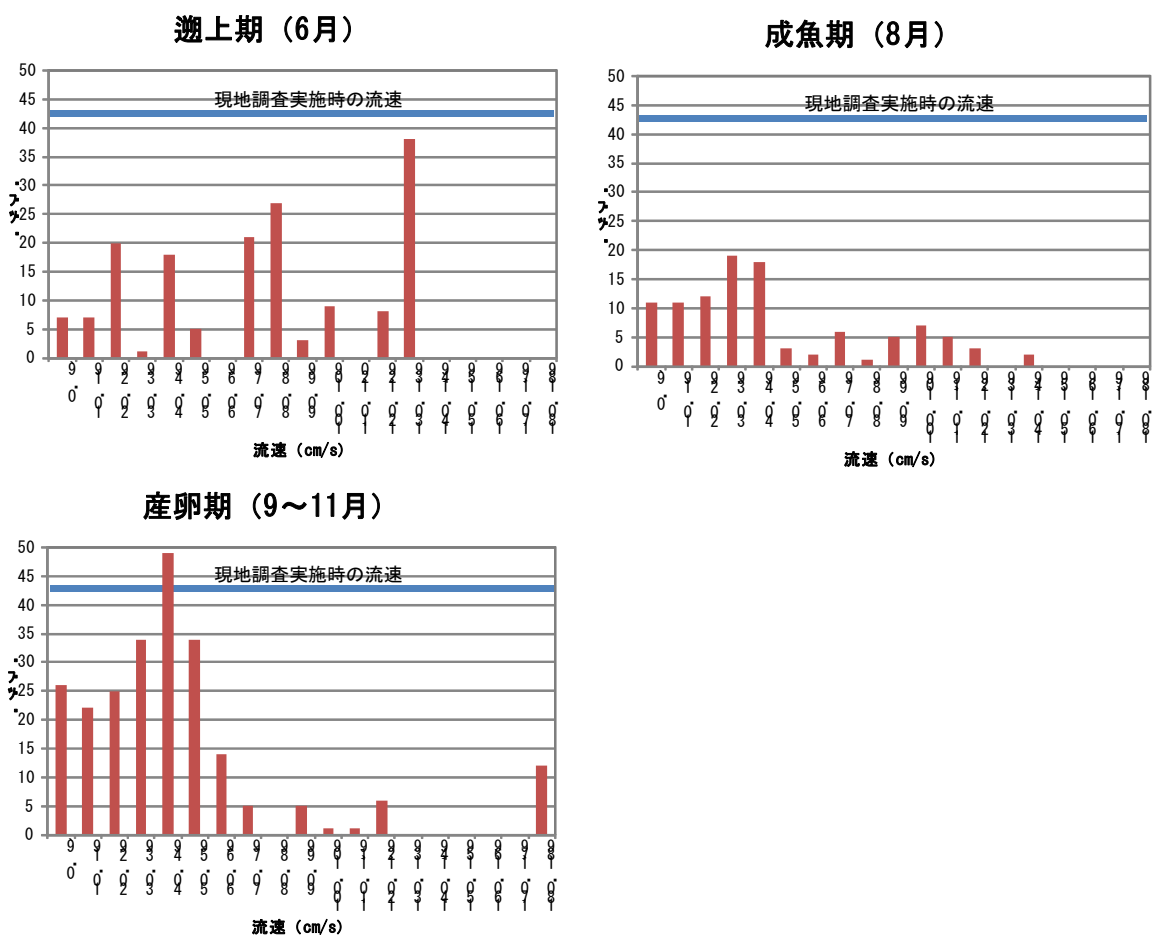


図 3. 2. 1-7 現地調査におけるアユ確認箇所の流速

水深については、遡上期と産卵期で 40～49cm の水深で多く確認されているが、成魚期では多様な水深で生息が確認されている。

文献における産卵場の水深は、30cm⁵⁾、10～60cm⁷⁾、浅場（10～数十 cm）、深場（1.0m 以上）⁸⁾ あるいは一般的な値を特定できずかなり幅のあるものである³⁾ 等とされている。

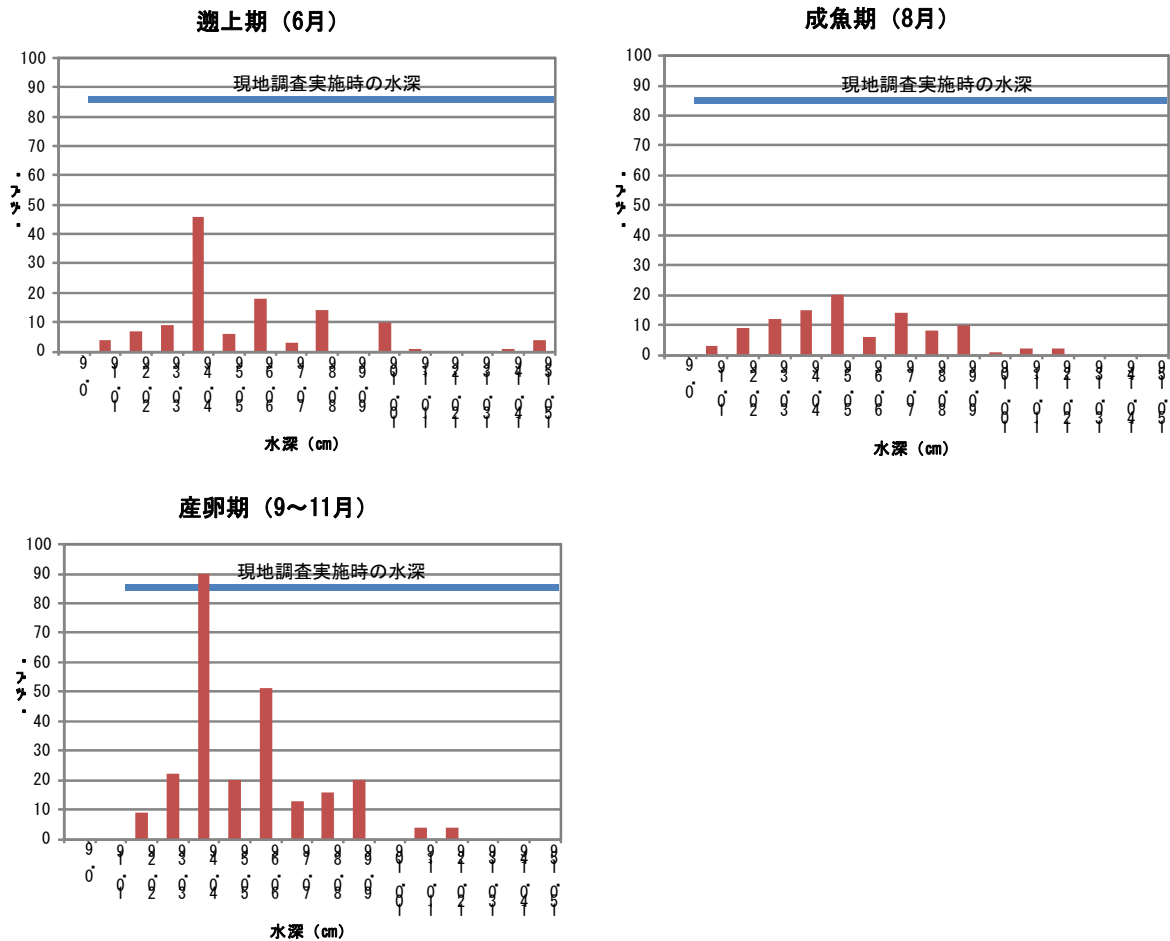


図 3.2.1-8 現地調査におけるアユ確認箇所の水深

水温に関しては、試験放流期間の調査において、遡上期ではおおむね 12～27℃で、成魚期ではおおむね 18～31℃で、産卵期ではおおむね 8～17℃で多く確認されている。

文献では、遡上期適水温域 9～25℃⁸⁾、9～22℃¹⁰⁾、成魚期適水温域 14～25℃⁵⁾、⁶⁾、産卵期適水温域 14～25℃³⁾、¹⁰⁾ 等とされているがこの範囲以外でも個体は確認されており、信濃川の水温の変化にアユが順応したと考えられる。

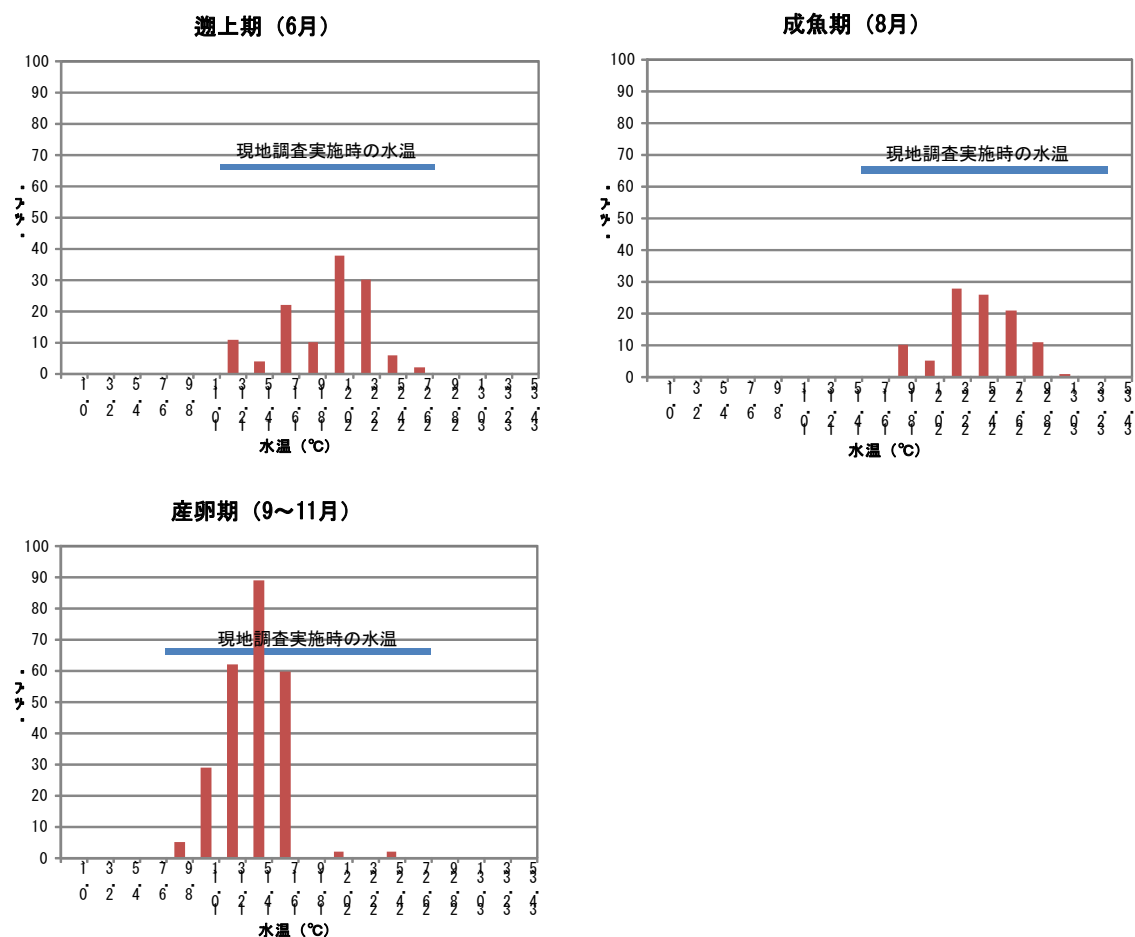


図 3. 2. 1-9 現地調査におけるアユ確認箇所の水温

2) 食み跡調査時の環境

試験放流期間中の信濃川においてアユ（成魚期）の食み跡が確認された箇所の流速を取りまとめたものを、図 3. 2. 1-10 に示す。

早瀬では 90～109cm/s で、平瀬では 30～90cm/s で多くの食み跡が確認されている。

文献では、木曽川支川新境川で流速 35cm/s 以上、多摩川で流速 65cm/s 以上の範囲に食み跡が見られた¹¹⁾とされており、平瀬、早瀬のそれぞれの食み跡が確認された箇所の流速は比較的近い値であった。

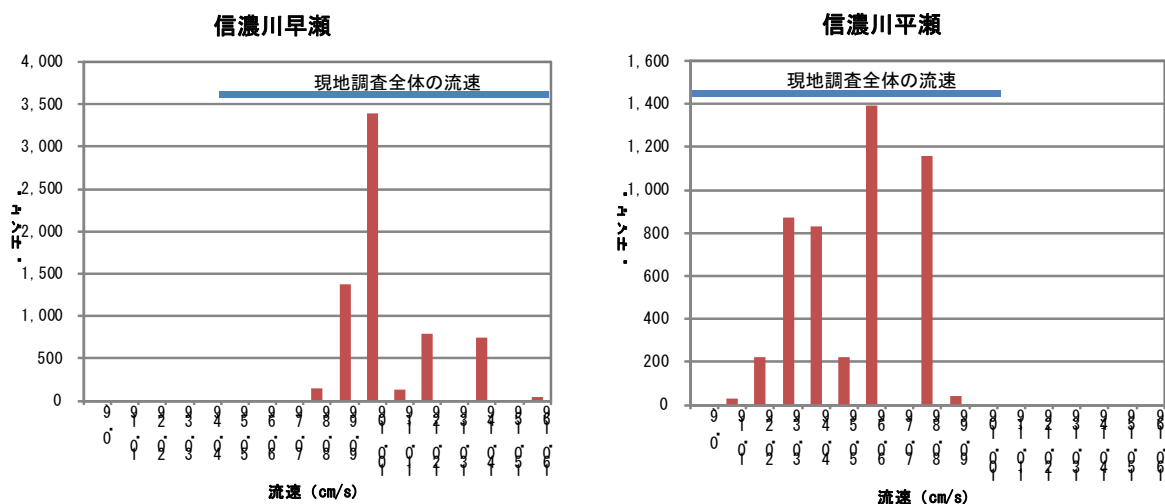


図 3. 2. 1-10 アユ食み跡確認箇所の流速

試験放流期間中の信濃川においてアユの食み跡が確認された箇所の水深を取りまとめたものを、図 3. 2. 1-11 に示す。

早瀬では 30～39cm、平瀬では 50～59cm の水深で最も多くの食み跡が確認されている。

文献では、木曽川支川新境川で水深 20cm 以上、多摩川では水深 35cm 以上で食み跡が見られた¹¹⁾とされており、今回の結果は合致している。

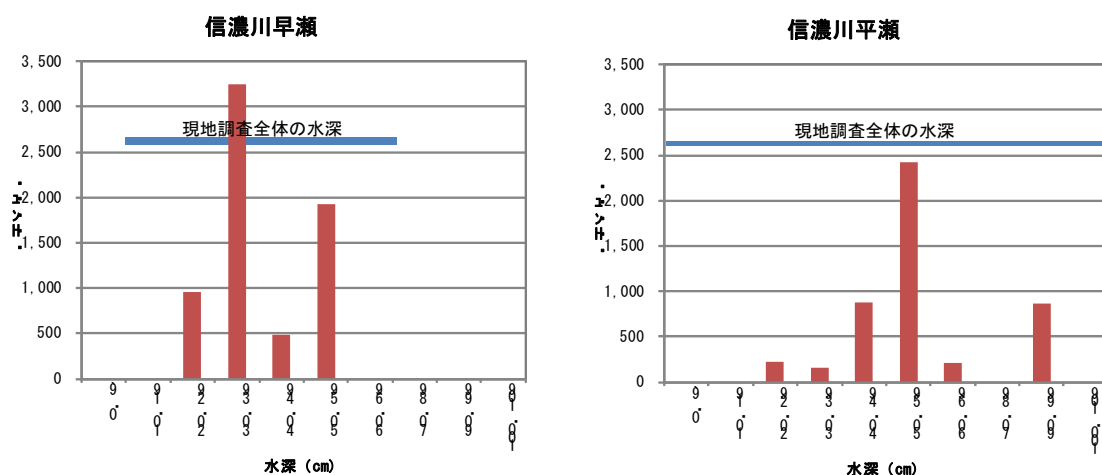


図 3. 2. 1-11 アユ食み跡確認箇所の水深

試験放流期間中の信濃川においてアユの食み跡が確認された箇所の水温をとりまとめたものを、図 3. 2. 1-12 に示す。

早瀬では 24℃、平瀬では 24～28℃の水温である場所に多くの食み跡が確認された。

文献では、最も活発に採餌する水温は 20～25℃¹²⁾ とされており、おおむねこの値とも一致している。

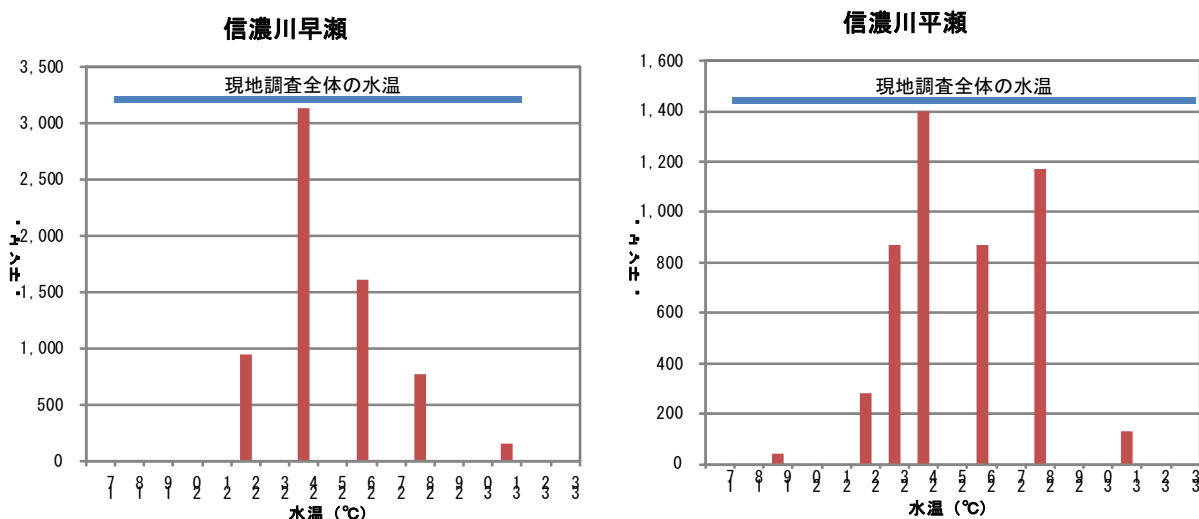
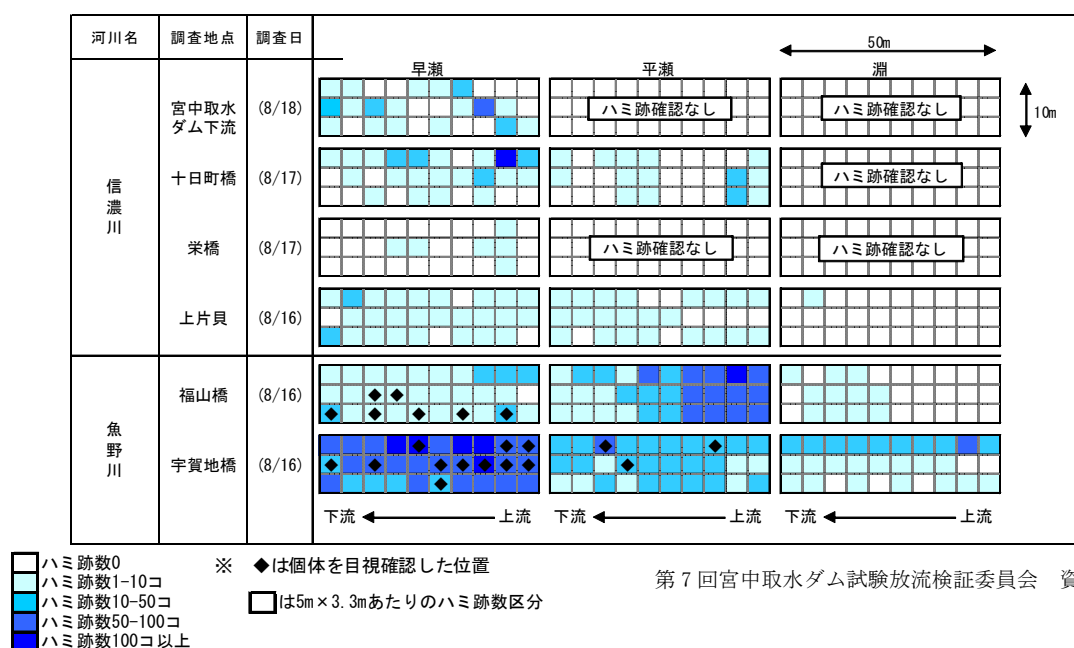


図 3. 2. 1-12 アユ食み跡確認箇所の水温

3) 信濃川及び魚野川のアユ採餌場所の分布

アユの食み跡に関しては、平成 22 年から 26 年まで、毎年、信濃川の対象区間及びその下流の上片貝、魚野川で目視確認による食み跡数の記録を行っているが、魚野川の食み跡数は信濃川のそれより多い。結果の一例を図 3. 2. 1-13 に示す。



第 7 回宮中取水ダム試験放流検証委員会 資料-1

図 3. 2. 1-13 アユ食み跡調査結果の例(平成 25 年度)

この差異について、信濃川と魚野川におけるアユの採餌環境の比較から検討を行った。

アユの生息密度は早瀬が最も高いとの研究成果があること^{52) 53)}、また、現地調査でも淵や平瀬よりも早瀬において多くの食み跡が確認されていることから、アユの採餌に適する場所として早瀬を抽出した。

平成 25 年度の河川水辺の国勢調査（河川環境基図）を用い、1km 区間あたりの早瀬の面積を比較すると、信濃川では 35,154m²、魚野川では 19,410m²であり、信濃川のほうが魚野川よりも早瀬の面積が多くなっている。

このことから、信濃川は魚野川に比べてアユが採餌する可能性のある場所が広く分布しており、調査地点で食み跡が確認出来なくても、それ以外の広い空間を利用して採餌している可能性が高いと考えられる。

表 3.2.1-1 1km 区間毎の早瀬の分布状況

河川名	区間	距離 (km)	早瀬の面積 (m ²)	<u>1km あたり 早瀬面積 (m²)</u>
信濃川	検証対象区間 41.5kp ～ 74.7kp	33.2	1,167,129	35,154
魚野川	合流点から八海橋 0.0kp ～ 28.0kp	28.0	543,475	19,410

注) 平成 25 年度の河川水辺の国勢調査（河川環境基図）の調査結果を元に作成

4) 肥満度、生殖腺指数

現地調査で確認されたアユの肥満度は、図 3.2.1-14 に示すとおりであり、黒部川、仁淀川、球磨川、川辺川、鏡川、太田川、阿武隈川及び巴川における調査結果の範囲内にあり、信濃川のアユと魚野川のアユは同程度の生育状況であると言える。

現地調査で確認されたアユの生殖腺指数は、図 3.2.1-15 に示すとおりであり、江川、巴川での 10 月の調査結果及び文献⁵⁴⁾による成熟個体の生殖腺指数の範囲内にあり、信濃川のアユと魚野川のアユは同程度の生育状況であると言える。

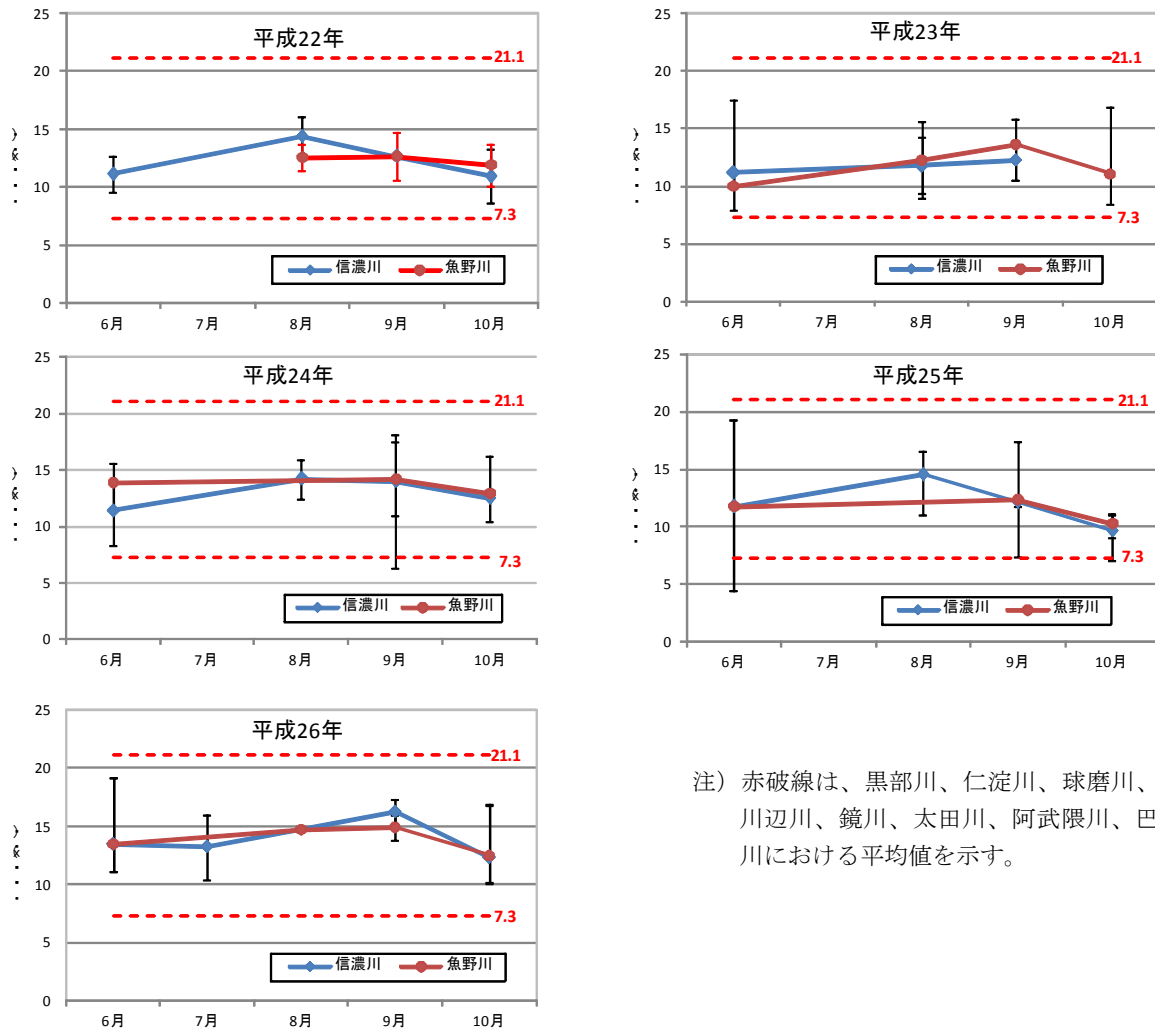
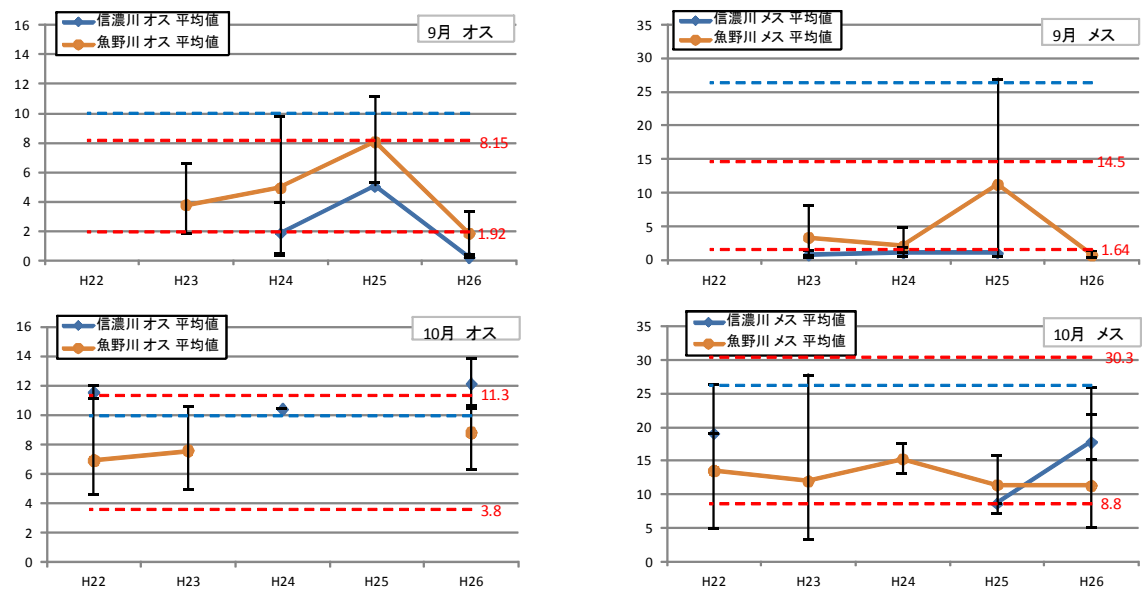


図 3. 2. 1-14 肥満度



注) 赤破線は江川、巴川での9月、10月の調査結果、青破線は文献（魚類学, 昭和40年, 松原）による成熟個体の生殖腺指数（オス：10前後、メス：26前後）を示す。

図 3. 2. 1-15 生殖腺指数

3.2.1.4 サケ遡上状況

(1) 近傍河川のサケ遡上状況

信濃川全体の捕獲数をみると、本州日本海側や新潟県の変化傾向と異なり、平成 24 年度以降は減少傾向となっていた。一方、宮中取水ダム魚道の遡上数の変化は、日本海全体や新潟県全体の変化傾向とよく一致していた。信濃川全体の捕獲数の違いは、河川別の捕獲目標（採卵数の目標）や漁獲努力量（漁期や漁場）の調整等の人為的な要因によるものである可能性が考えられる。

宮中取水ダム魚道における調査は、主に 9 月下旬～11 月初旬にサケの遡上が確認されることから、一般的なサケの遡上期間（8 月中旬～12 月下旬³⁵⁾）の比較的前半に遡上する個体群を対象としていると考えられる。

しかし、聞き取り調査において魚野川合流点から十日町市境界の区間で平成 11 年 11 月 7 日～20 日にサケ 12 個体が採捕されていることや、平成 25 年度漁協関係者からの聞き取りでは上片貝では 12 月末までサケが漁獲されていることから、後半に遡上する個体群も認められる。

なお、信濃川下流域で行われるサケ漁業は、上流域での漁獲に配慮した漁期を設定している（下流の漁獲は 10/20 以降に解禁される）³⁶⁾ため、遡上期前半の個体群に対しては漁獲圧が小さい状況となっている。

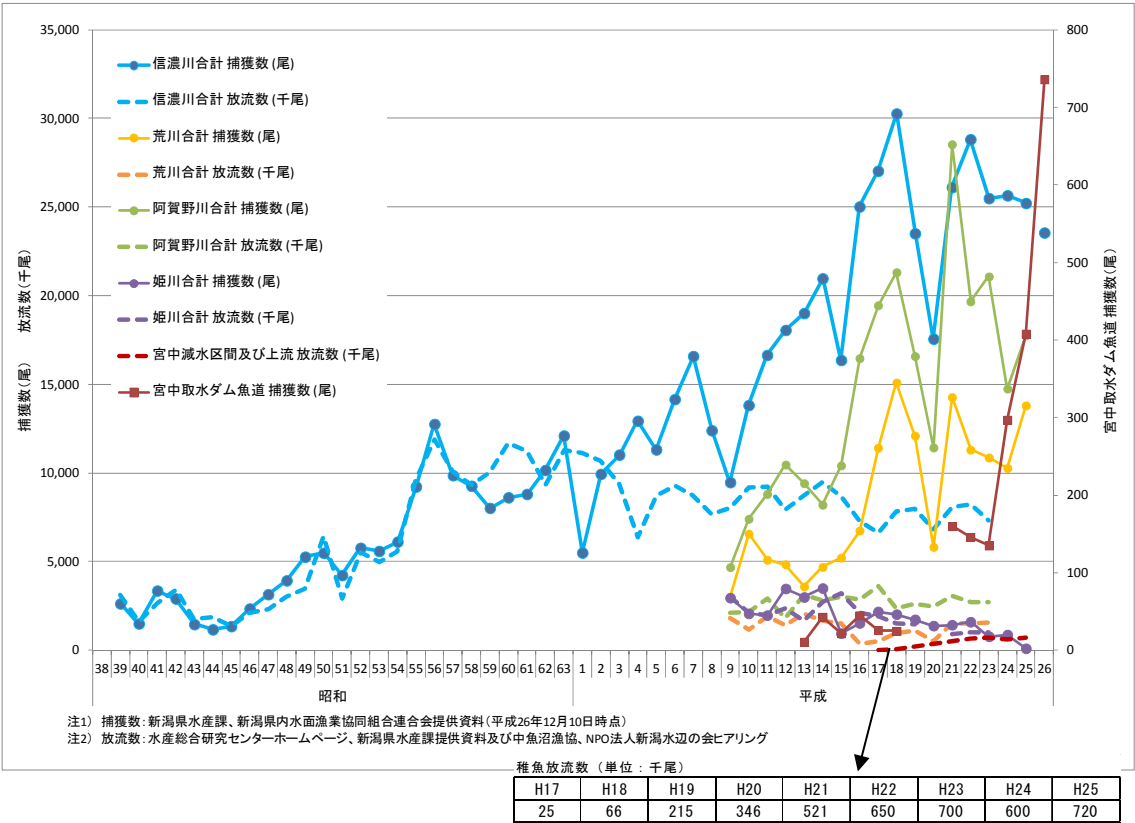


図 3.2.1-16 信濃川及び近傍河川におけるサケ遡上数の変化
（宮中取水ダム魚道の調査結果を含む）

サケの回帰率については、水産庁・水産総合研究センター³⁷⁾によると、全国的な傾向は以下のように整理されている。

- ・本州日本海は1%を切る状態が続いているものの、1999年級群まで平均0.3%だった回帰率は、2000年級群以降では平均0.7%に向上している。

宮中取水ダム魚道のサケの回帰率は0.1%前後であり、本州日本海よりも小さかった。

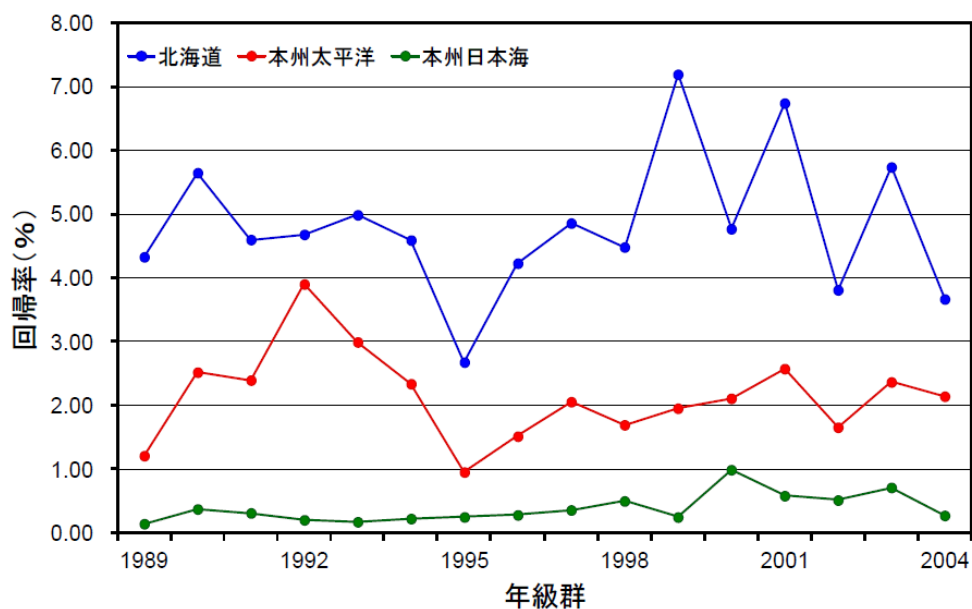


図 3. 2. 1-17 日本各地におけるサケの回帰率の推移³⁾

【参考】

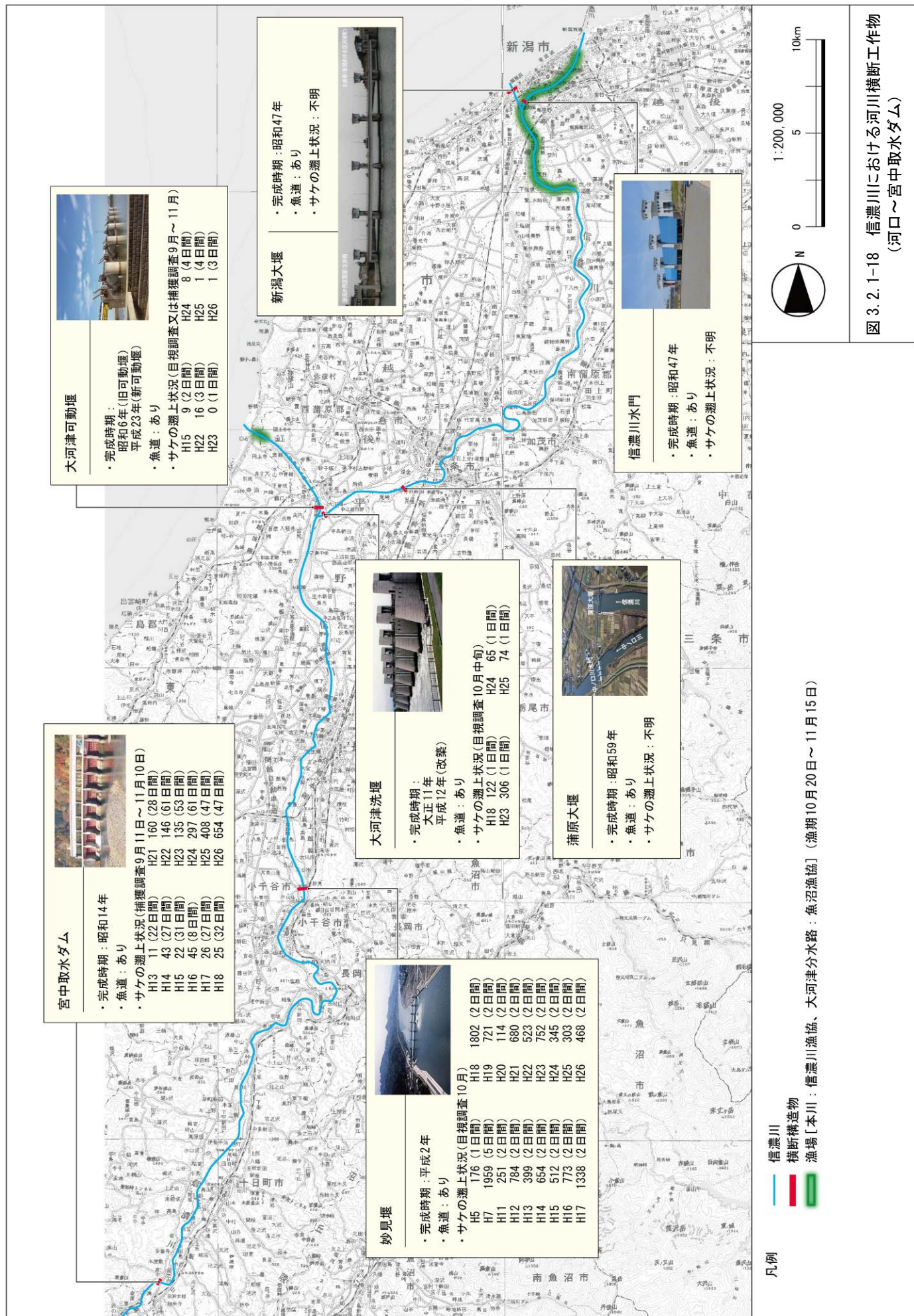
- ・近年の新潟県におけるサケの単純回帰率³⁸⁾

H22 年度：0.8%、H23 年度：0.6%、H24 年度：0.7%、H25 年度：0.6%

(2) サケの遡上行動

1) 遡上経路の状況

信濃川に存在する河川横断工作物には全て魚道が設置されており、主な魚道においてはサケの遡上が確認され、遡上経路は確保されている。



2) サケの遡上行動に影響を与える環境要因

文献により、サケの生態特性、遡上行動を誘発する環境要因や遡上行動に影響を与える環境要因を整理した。

表 3. 2. 1-2 サケの遡上行動に関する既往知見

区分	サケの遡上に及ぼす影響	文献No.
遡上行動	産卵のために河川を遡上するサケ科類の遡上行動は照度、流量、濁度および水温といった外部環境の変化や成熟度などさまざまな要因によって複合的に引き起こされる。	39
遡上速度	0.8km/h(自然堤防区間)、0.6km/h(峡谷区間)、0.3km/h(盆地区間)	40
	臨界遊泳速度: 1.64 ± 0.053 (体長/秒)	41
流量	北海道美利河ダムの減水区間(5km)において、0.5m ³ /sから3.0m ³ /sの増放流(弾力的運用)時にサクラマスのテレメトリー追跡を行なった。調査個体は増放流を行なった場合に減水区間を遡上し、増放流を行なわなかった場合は、減水区間の手前で滞留した。	42
	ダムによって流量がコントロールされた河川においては、大西洋サケの遡上活動の日周リズムが混乱し、放流量の少ない夜間に遡上が活発になっていた。	43
	常呂川に遡上したカラフトマス親魚採捕数と河川流量の日変化の関係を比較すると、遡上の多い期間には流量の増加が遡上活動を促していることがわかった。	35
水温	遡上期の生息適水温: 0~20℃、最適水温: 3~12℃	44
	河川水の温度変化が直接遡上に与える影響はほとんどないといわれる。厳冬期には、水温のわずかな上昇時に遡上活動が活発化したとの報告がある。	45
濁り	千歳川において、降雨に起因する濁りの加入に対応したサケ親魚の遡上尾数の増加が観察された。この調査時は流量の日変化が少なかったことから、断続的な濁りの刺激が遡上を誘発したと判断された。	46
照度	屋外水槽で行った実験によると、夜間に記録された活発な遊泳行動は遡上行動に起因すると考えられ、昼間に比べて緊張・興奮状態であったことが明らかとなった。	47
	高緯度地域における大河川に接続する支川の大西洋サケ成魚は、太陽高度の低い夜間(21:00~3:00)に主に遡上した。	48
	サケの遡上は、日中に活発化、夜間に停滞する。日中の遡上はそのピークが単一の場合もあるが、他の要因の影響を受けると色々なパターンに変化する。夜明けの薄明時や日没時に照度変化の刺激を受けて遡上が活発化することもあり、複数のモードを持つことがある。ただし、個体の密度が高い場合、濁りがある場合は夜でも昼と変わりなく活発に遡上する。	49
気象条件	気象変化が単独で遡上活動に影響を及ぼすことはなく、これらが流量変化や照度変化をもたらすことにより間接的に影響を与えるに過ぎない。	35
魚群密度	遡上魚の分布密度が極めて高いと、個体間の相互作用としてストレスも加わり、「混み合い効果」として遡上活動が促され、他の環境条件の影響を受けることなく昼夜を問わない遡上行動が生じる。	50
河川形態	河川の蛇行区間と直線区間を遡上するサケの遊泳速度や筋肉電位の変化を解析した。サケは、蛇行区間に形成されている淵などの流速が遅く水深の深い場所を選択的に定位場所として利用し、遊泳による疲労回復を行っていた。淵の存在はサケの遡上行動にとって非常に重要である。	41

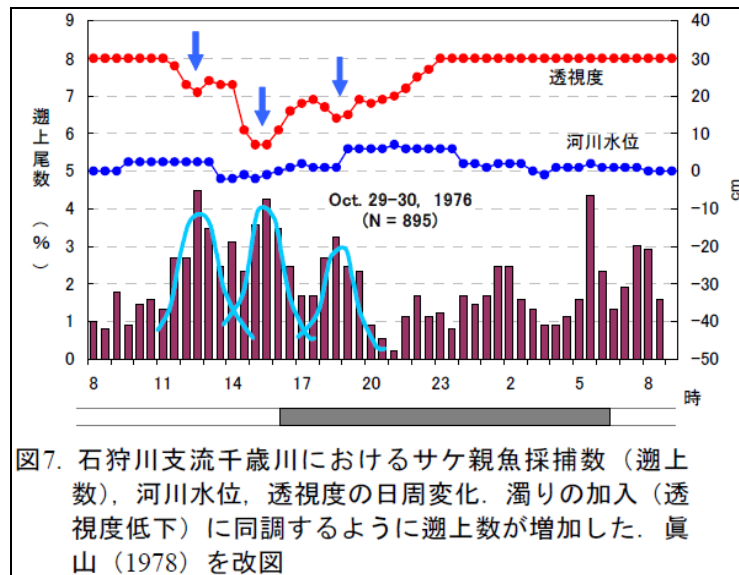
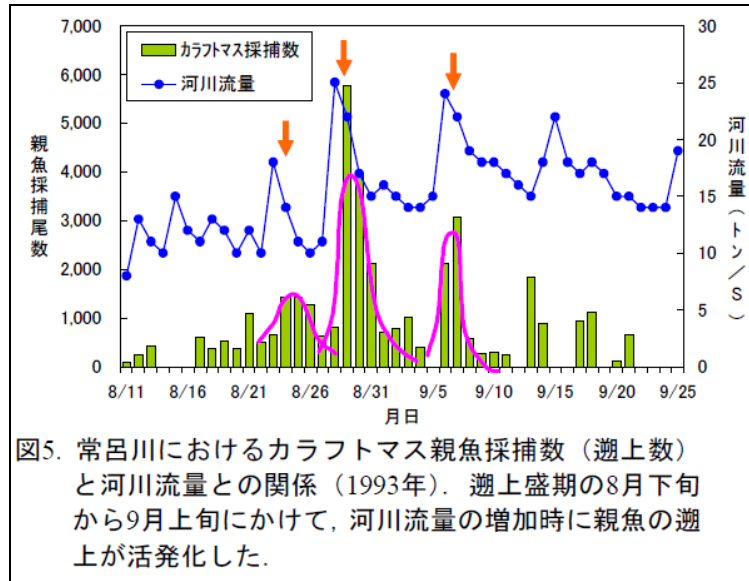


図 3. 2. 1-19 サケの遡上を誘発する環境変化（上：河川流量、下：濁り）³⁵⁾

【テレメトリー調査結果】

2 か年、合計 20 匹の行動観測を行った。1 時間あたりの移動距離を取りまとめ、宮中取水ダムからの放流量との関係を図 3. 2. 1-20 に示す。

しかし、放流量の変化がサケの遡上行動に影響を与えるような関係は見いだせなかった。

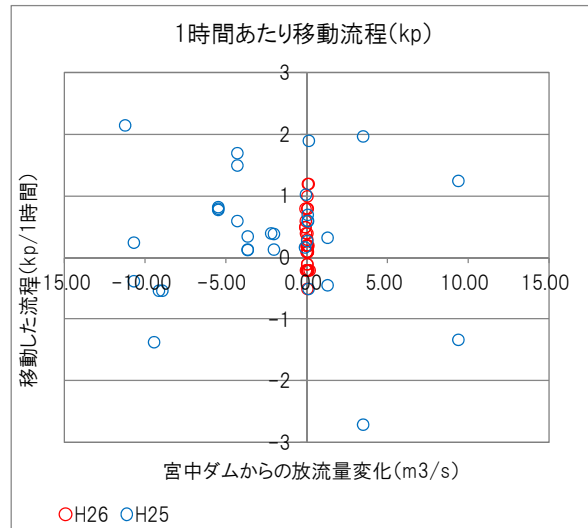


図 3. 2. 1-20 放流量が変化した時のサケの移動距離（平成 25、26 年度現地調査）

同様に、時刻別に1時間あたりの移動距離を取りまとめたものを図 3. 2. 1-21 に示す。

活動の時間帯について、昼夜の明瞭な違いが見いだせなかったが、降下行動は比較的夜間に多くみられた。

既往知見では、サケの遡上は基本的に昼間に行われるが、夜間遡上する場合も多いことが報告されている。(39), (43), (49), (50))

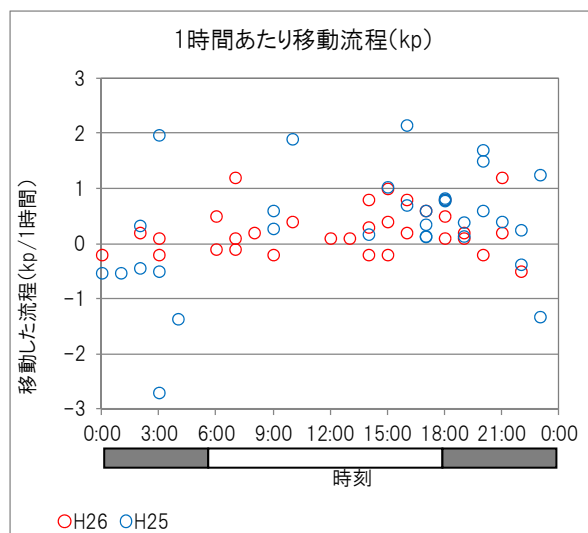


図 3. 2. 1-21 時刻別の移動距離（平成 25、26 年度現地調査）

平成 26 年度の調査個体（10 個体）のうち、4 個体（オス 1、メス 3）は、追跡中に繁殖行動を行っていることが確認されている。

サケマス類は、河川遡上を始めるときには河川形態や産卵場までの距離によって異なる量のエネルギー源を体内に蓄積し、川の中では絶食して蓄積エネルギーだけを生殖腺形成や遡上・産卵行動のために使用する。この蓄積エネルギー量は河川毎にあるいは支流毎に遺伝的に決められている⁵¹⁾ という報告がある。

テレメトリー調査は、10 月 20 日前後から 1 週間程度実施されており、文献によれば、サケの産卵時期のピークである 10 月中下旬³⁵⁾ と一致する。

表 3.2.1-3 に示すとおり、テレメトリー調査開始後すぐに繁殖行動が始まっており、テレメトリー調査に供した個体は、成熟度が進み産卵間近だった可能性が考えられ、更なる遡上ではなく産卵適地を探す行動を取るようになっており、外的環境の変化に関わらず移動していた可能性が考えられる。

表 3.2.1-3 テレメトリー調査個体の繁殖行動（平成 26 年度）

個体No.	雌雄	確認日	確認位置	確認状況	備考
1	オス	10月23日	宮中橋取水ダム下流ワンド内(ミオンなかさと付近)	他の個体と遊泳(メスの周りを遊泳し、他のオスを威嚇・排除する行動を行っていた)	産卵床確認
2	メス	10月23日	新宮(入間川合流点付近)	他の個体と遊泳(オス個体から追尾される)	産卵床確認
		11月2日	妻有大橋下流	浅瀬で死骸を確認し発信機等を回収。腹に卵はなく産卵終了後であることを確認	
4	メス	10月23日	新宮(入間川合流点付近)	他の個体と遊泳(オス個体から追尾される)	産卵床確認
		11月2日	ほくほく線鉄橋上流	岸で死骸を確認し発信機等を回収。腹に卵はなく産卵終了後であることを確認	
7	メス	11月2日	十日町橋上流(川治川合流点付近)	浅瀬で死骸を確認し発信機等を回収。腹に卵はなく産卵終了後であることを確認	産卵床確認

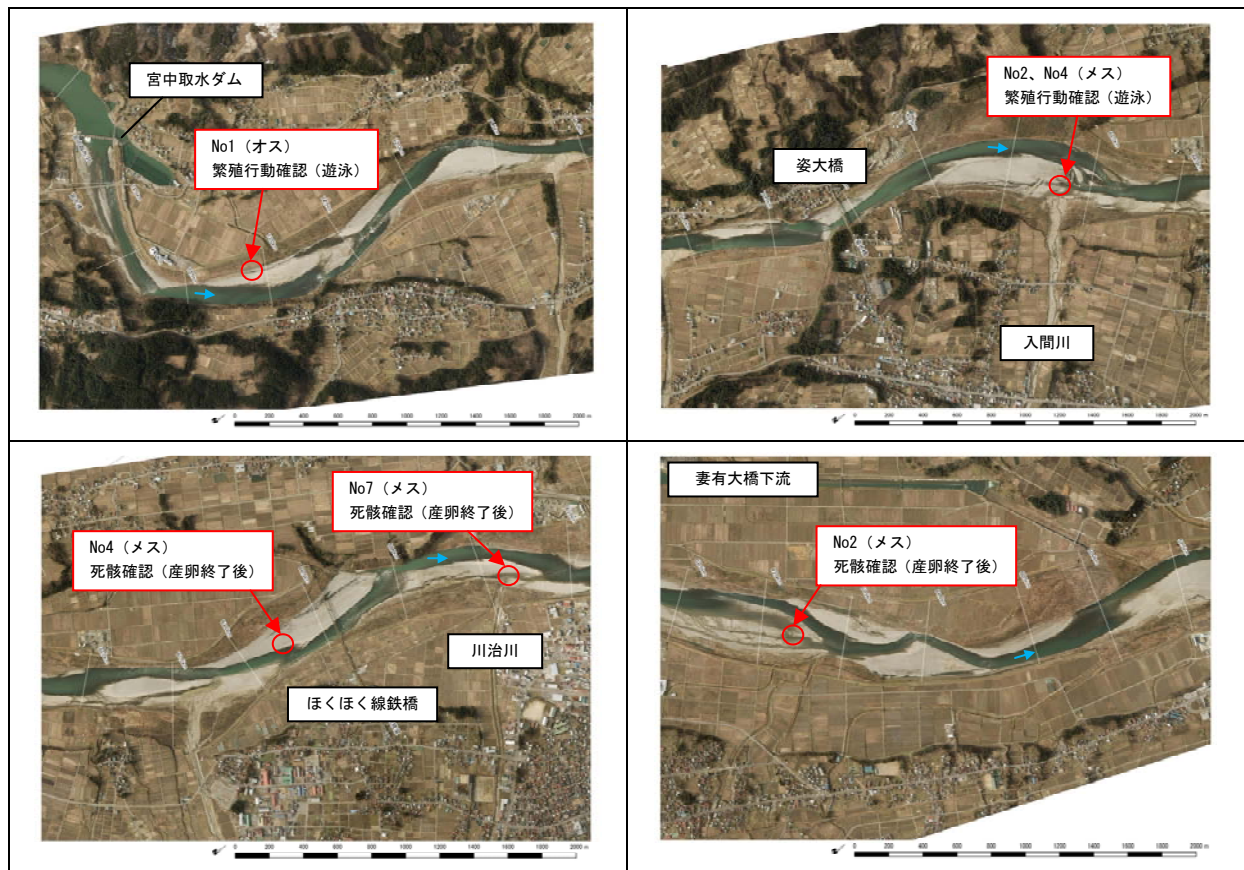


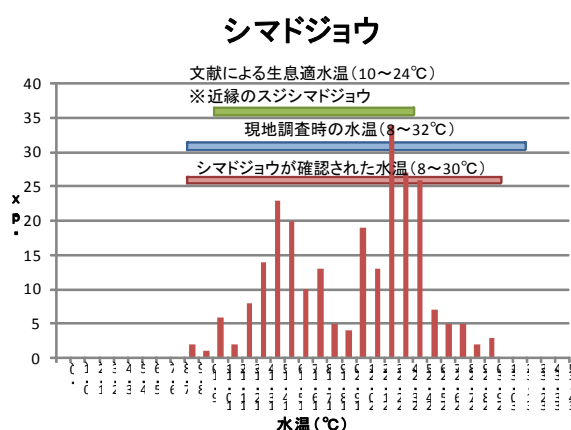
図 3.2.1-22 テレメトリー調査個体の繁殖行動等の確認位置

冷水性魚類の生息状況について

協議会において冷水性魚類とされた種について、現地調査で確認された水温と文献等による生息適水温を重ね合わせたものを図 3. 2. 1-23 に示す。現地調査では、文献で示されている生息適水温から外れた水温域でも生息が確認された。

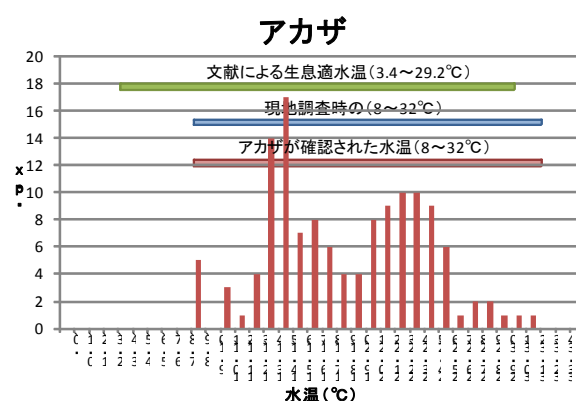
例えば、シマドジョウは平成 24 年 8 月 28～31 日に水温 26. 2～29. 8℃、ヤマメは平成 23 年 8 月 31 日及び平成 24 年 8 月 31 日に水温 24. 0～27. 5℃、カジカは平成 15、23、24、25、26 年の 8 月下旬～9 月上旬にかけて水温 18. 1～29. 8℃となった地点においても生息が確認された。

夏季の猛暑によって水温が上昇し、魚類にとって環境が悪化したとしても、何とか環境に順応し生息することができる実態は把握できたが、魚類にとっては大きな負荷がかかっていると考えられ、長期間適応水温から外れた環境になることは望ましいことではないと考えられる。



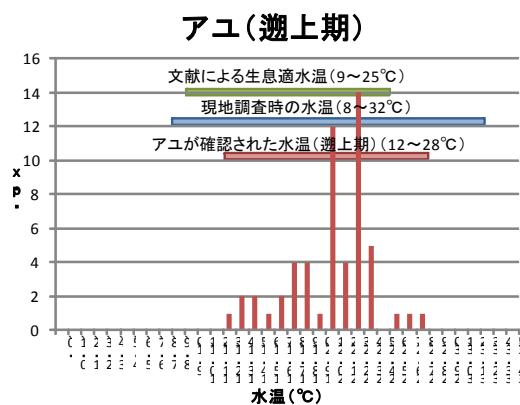
※生息適水温は以下の文献を参考に設定
近縁種 スジシマドジョウの適水温 10℃～24℃
出典：皆森寿美夫（1954）スジシマドジョウの地方種族における温度適応、日本生態学会誌 Volume 4, No. 2, pp 66-68)

図 3. 2. 1-23(1) シマドジョウの生息確認水温

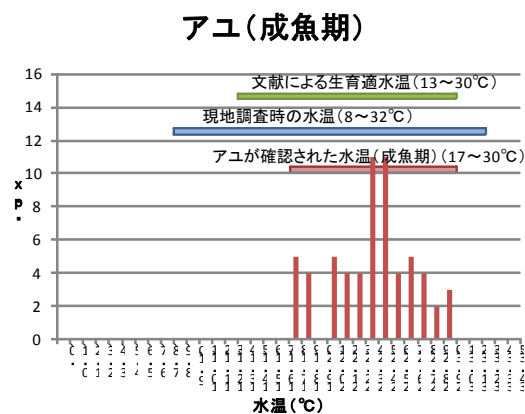


※生息適水温は以下の文献を参考に設定
生息水温域 3.4℃～29.2℃
出典：O Katano, T Nakamura, S Yamamoto, S Abe (2005) Summer daytime habitat and population density of the torrent catfish, Liobagrus reinii, in the Urano River, Ichthyological Research, Volume 52, Issue 1, pp 50-56

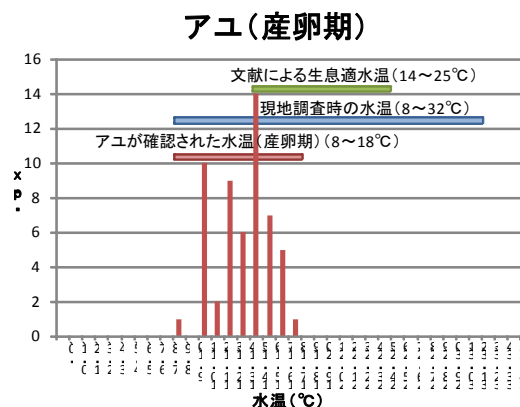
図 3. 2. 1-23(2) アカザの生息確認水温



※生息適水温は以下の文献を参考に設定
 遡上期：適水温域 9℃～25℃
 最適水温域 11℃～22℃
 出典：（社）日本水産資源保護協会（昭和 55 年 1 月）水産生物適水温図



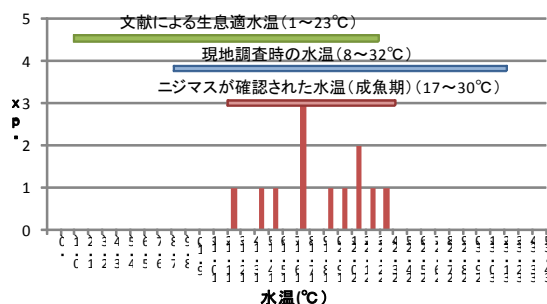
※生息適水温は以下の文献を参考に設定
 生育可能水温 13℃～30℃
 最も活発に採餌する水温 20～25℃
 出典：（社）日本水産資源保護協会（1994）環境が河川生物及び漁業に及ぼす影響を判断するための「判定基準」と「事例」



※生息適水温は以下の文献を参考に設定
 産卵期：適水温域 14℃～25℃
 出典：（社）日本水産資源保護協会（昭和 55 年 1 月）水産生物適水温図

図 3. 2. 1-23(3) アユの生息確認水温

ニジマス(成魚期)



※生息適水温は以下の文献を参考に設定

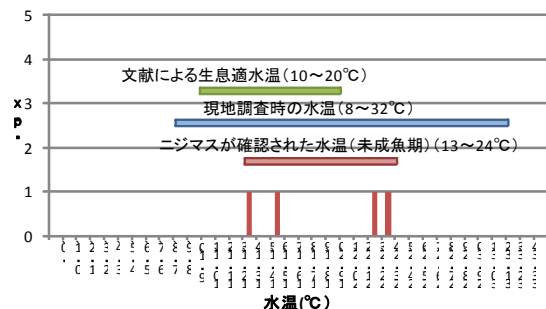
成魚期：適水温域 3°C~21°C

最適水温域 9°C~18°C

生息可能範囲上限 23°C、下限 1°C

出典：(社)日本水産資源保護協会(昭和 58 年)環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理、

ニジマス(未成魚期)



※生息適水温は以下の文献を参考に設定

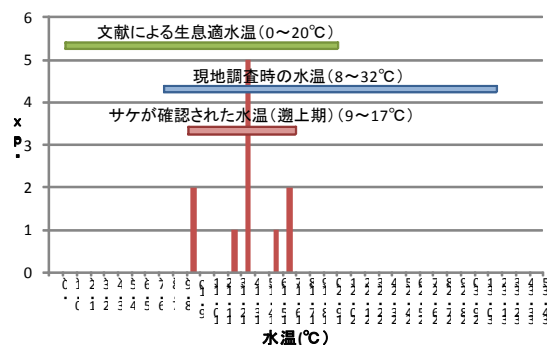
未成魚期：適水温域 10°C~20°C

最適水温域 12°C~18°C

出典：(社)日本水産資源保護協会(昭和 58 年)環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理

図 3. 2. 1-23 (4) ニジマスの生息確認水温

サケ(遡上期)



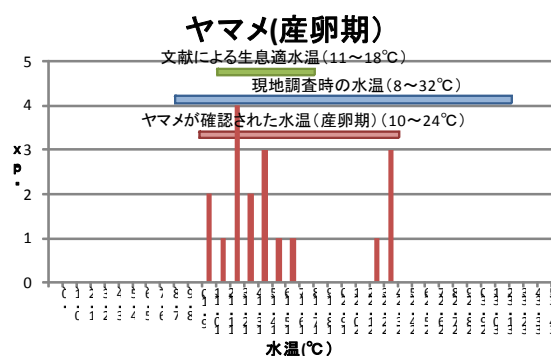
※生息適水温は以下の文献を参考に設定

遡上期：適水温域 0°C~20°C

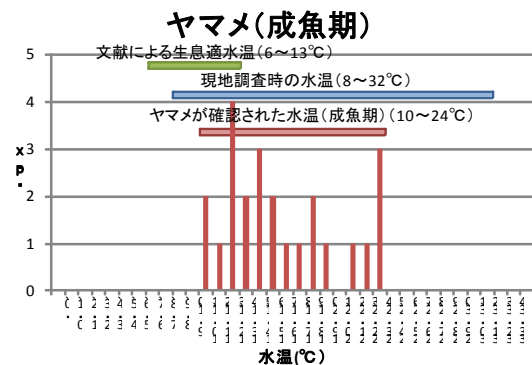
最適水温域 3°C~12°C

出典：(社)日本水産資源保護協会(昭和 58 年)環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理

図 3. 2. 1-23 (5) サケの生息確認水温

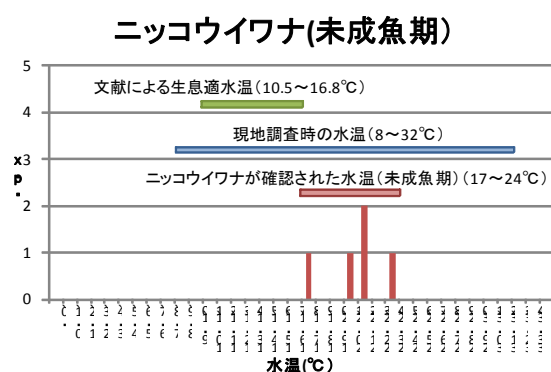


※生息適水温は以下の文献を参考に設定
 産卵期：適水温域 11℃~18℃
 出典：（社）日本水産資源保護協会（昭和 58 年）環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理

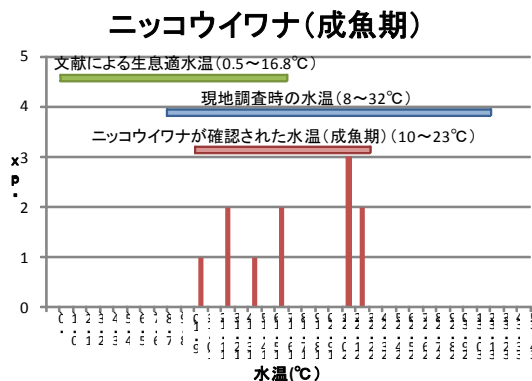


※生息適水温は以下の文献を参考に設定
 成魚期：適水温域 6℃~13℃
 最適水温域 8℃~11℃
 出典：（社）日本水産資源保護協会（昭和 58 年）環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理

図 3. 2. 1-23 (6) ヤマメの生息確認水温

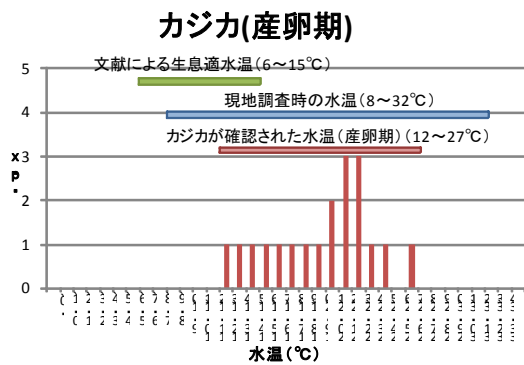


※生息適水温は以下の文献を参考に設定
 未成魚期：適水温域 10.5℃~16.8℃
 出典：（社）日本水産資源保護協会（昭和 58 年）環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理

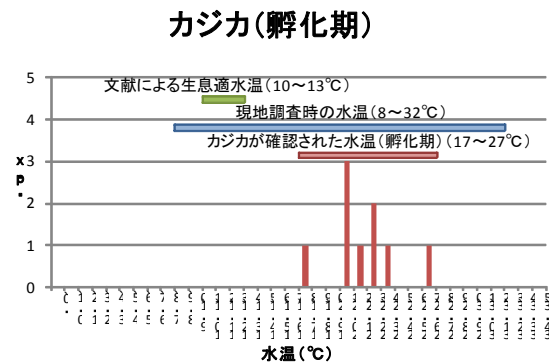


※生息適水温は以下の文献を参考に設定
 成魚期：適水温域 0.5℃~16.8℃
 最適水温域 13℃~16.8℃
 出典：（社）日本水産資源保護協会（昭和 58 年）環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理

図 3. 2. 1-23 (7) ニッコウイワナの生息確認水温



※生息適水温は以下の文献を参考に設定
 産卵期：適水温域 6°C~15°C
 出典：中村俊六・テリーワドゥル（1999）IFIM 入門．財
 団法人リバーフロント整備センター，197pp.



※生息適水温は以下の文献を参考に設定
 孵化期：適水温域 10°C~13°C
 不適水温域 4°C以下、17.5°C以上
 出典：中村俊六・テリーワドゥル（1999）IFIM 入門．財
 団法人リバーフロント整備センター，197pp.

図 3. 2. 1-23 (8) カジカの生息確認水温

3.2.2 付着藻類

付着藻類については、提言時に「宮中ダムによる減水区間では、特に十日町において異常繁茂した付着藻類の現存量は非減水区間と比較して非常に多い。これは、出水頻度の減少等が生じているために繁茂した藻類が剥離する現象が起きづらい環境にある。」という課題が示されている。

そこで、非減水区間である上田橋地点で生じる付着藻類の繁茂状況が水面に対して 17%程度であったことから、これを指標として、試験放流期間中、十日町橋、栄橋、川井大橋地点で藻類の繁茂状況について調査を行った。

(1) 調査結果

1) 異常繁茂の状況

付着藻類の異常繁茂面積に関する調査は、現地において主に藻類の異常繁茂が生じやすいといわれる水深 50cm 以下の場所を重点的に踏査し、目視確認による調査を行なった。

調査箇所は「提言」の際に比較対象として選定された非対象区間の上田橋(千曲川)及び対象区間内の十日町橋、栄橋、川井大橋の図 3.2.2-1 に示す 4 地点であり、調査年は試験放流以前の平成 20 年からの 7 カ年である。

調査では藻類の繁茂の状態を図 3.2.2-2 に示すように 4 区分し、区分毎の面積を記録している。この区分のうち藻類区分 3 及び藻類区分 4 を異常繁茂としている。

各調査日の藻類区分毎の面積及び放流量を図 3.2.2-3 に示す。

調査開始した平成 20 年では十日町橋で最大 53.0%まで異常繁茂と認定される状態が広がったが、試験放流開始後は対象区間の栄橋地点において最大 15.5%となったものの、17%を超過することはなかった。



図 3.2.2-1 調査地点位置図



区分1：藻類が石の表面に付着しているが、石の模様が確認できる。



区分2：藻類が石の表面を覆っており、石の模様が確認できない。但し、糸状藻類の生長はみられない又はごく短い。



区分3：糸状藻類が石の表面を覆い、生長した糸状藻類が水中に漂っている。



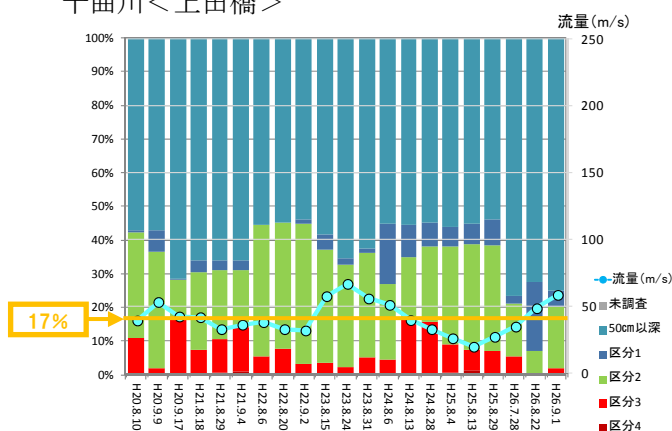
区分4：糸状藻類が石の表面を覆い、糸状藻類の一部が石から剥離し、水面で膜状に浮遊している。

異常繁茂

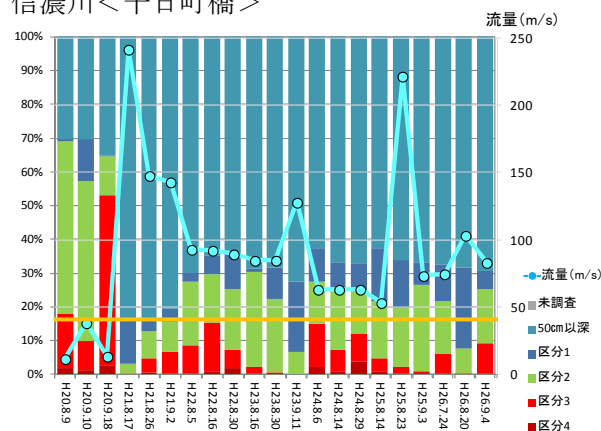
図 3.2.2-2 藻類の繁茂区分

○調査地点ごとの繁茂面積の経年変化

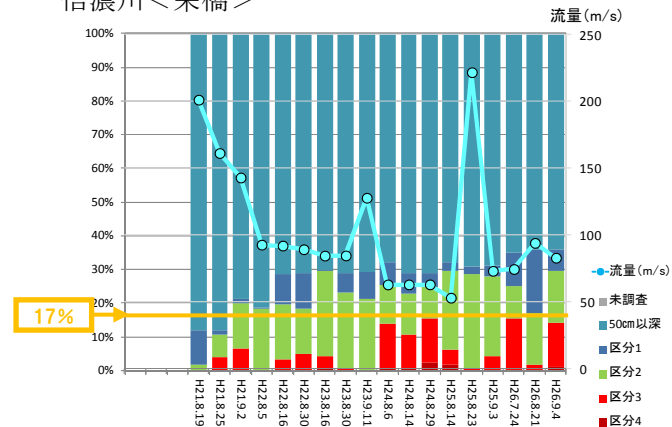
千曲川<上田橋>



信濃川<十日町橋>



信濃川<栄橋>



信濃川<川井大橋>

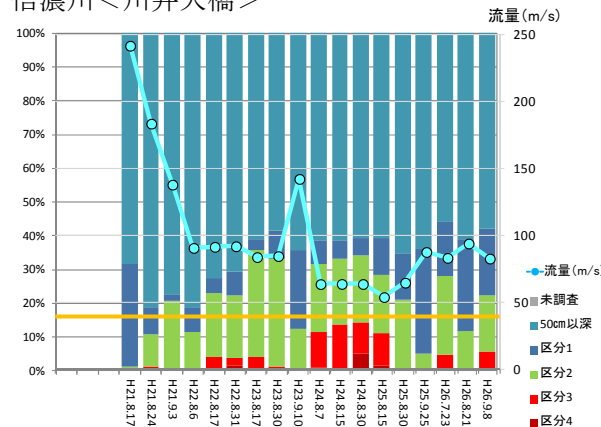


図 3.2.2-3 藻類の繁茂区分ごとの面積割合

2) 河川流量と異常繁茂面積

藻類が異常に繁茂するメカニズムに河川流量がどの程度影響しているか把握するために、河川流量と異常繁茂面積との関係を整理した。

藻類調査着手前の3週間、2週間、1週間における河川流量の最大及び平均と、水面と異常繁茂している区域の面積の割合について整理したものを、図3.2.2-4に示す。

異常繁茂面積と流量の関係は、調査日から1週間前までの期間の最大流量との関係が他のものより若干相関が高かった。ただし、栄橋地点においては、調査範囲内が砂利採取工事により毎年河道の状況が変化していたため、藻類異常繁茂区域の面積の割合と流量について明瞭な関係が見いだせなかったと考えられる。

なお、川井大橋においては、平成21年に調査範囲の右岸側で砂利採取が行われているため、平成22年時点での河道を基本として各年の藻類異常繁茂の割合を算出した。

(参考)

藻類の成長期間に関しては、ダムのフラッシュ放流に関する文献に記載がある。

具体的には、フラッシュ放流により掃流された藻類がフラッシュ前の状態までに回復するために必要な日数が早瀬で5日、水際や平瀬では11日¹⁾である、藍藻類や珪藻類からなる群集がフラッシュ放流してから従前のレベルまで回復するために必要な日数が10日前後²⁾である等である。

調査日から1週間前までの河川流量の最大値と相関性が若干高かったことは、これらの指摘と合致する。

千曲川<上田橋>

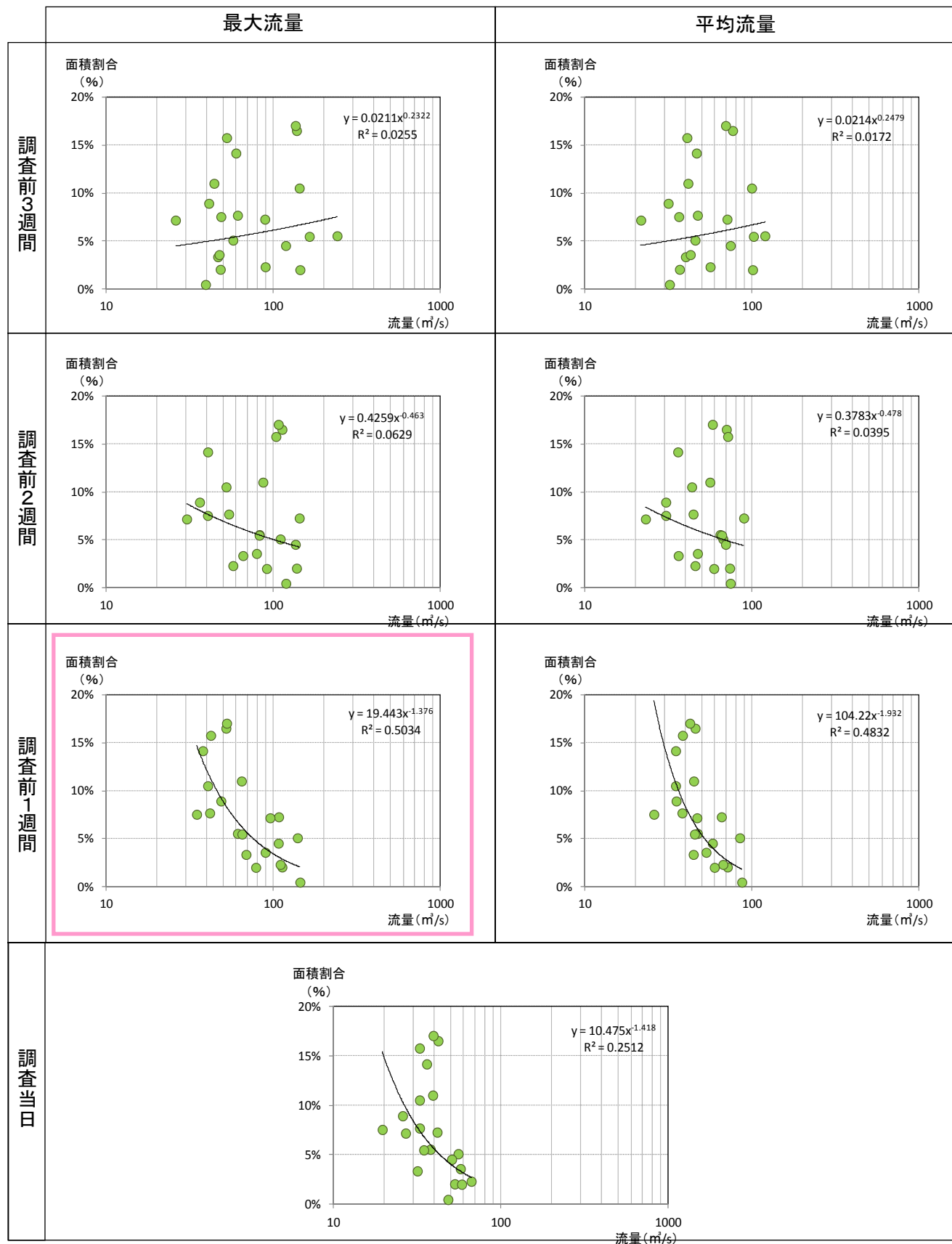


図 3.2.2-4(1) 異常繁茂区分（藻類区分3,4）の割合と流量の関係

信濃川<十日町橋>

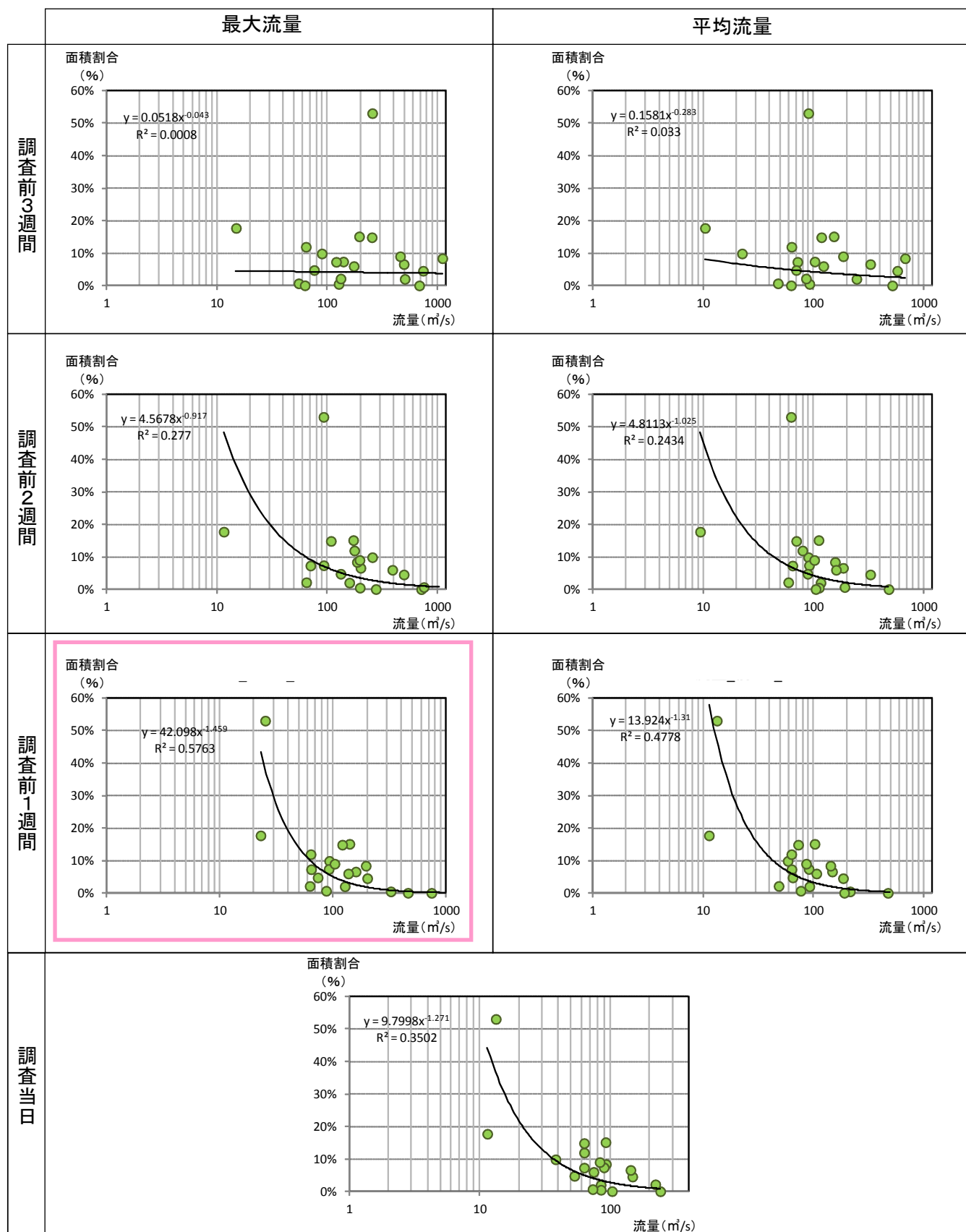


図 3.2.2-4(2) 異常繁茂区分（藻類区分3,4）の割合と流量の関係

信濃川<栄橋>

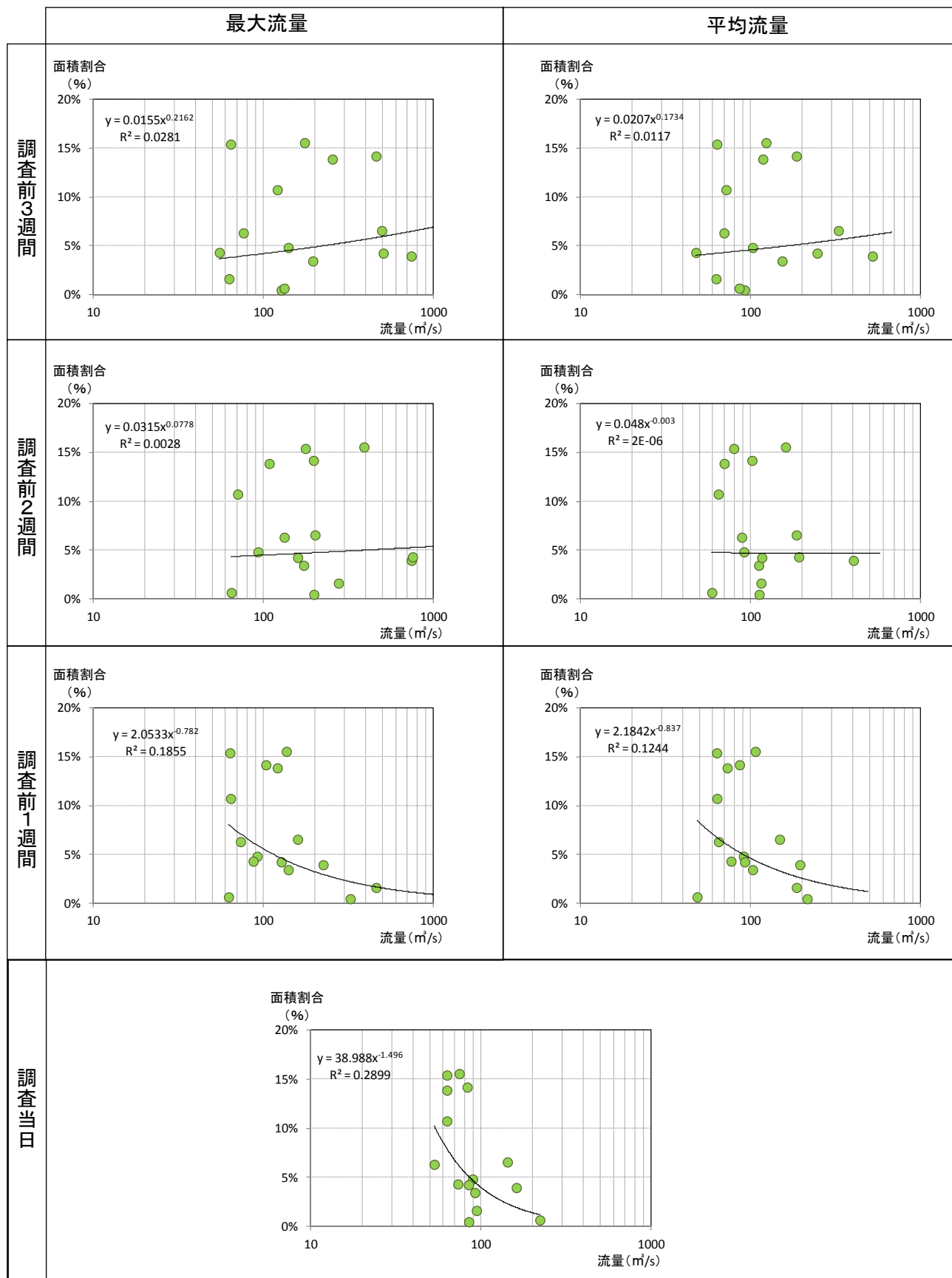


図 3.2.2-4(3) 異常繁茂区分（藻類区分3,4）の割合と流量の関係

信濃川<川井大橋>

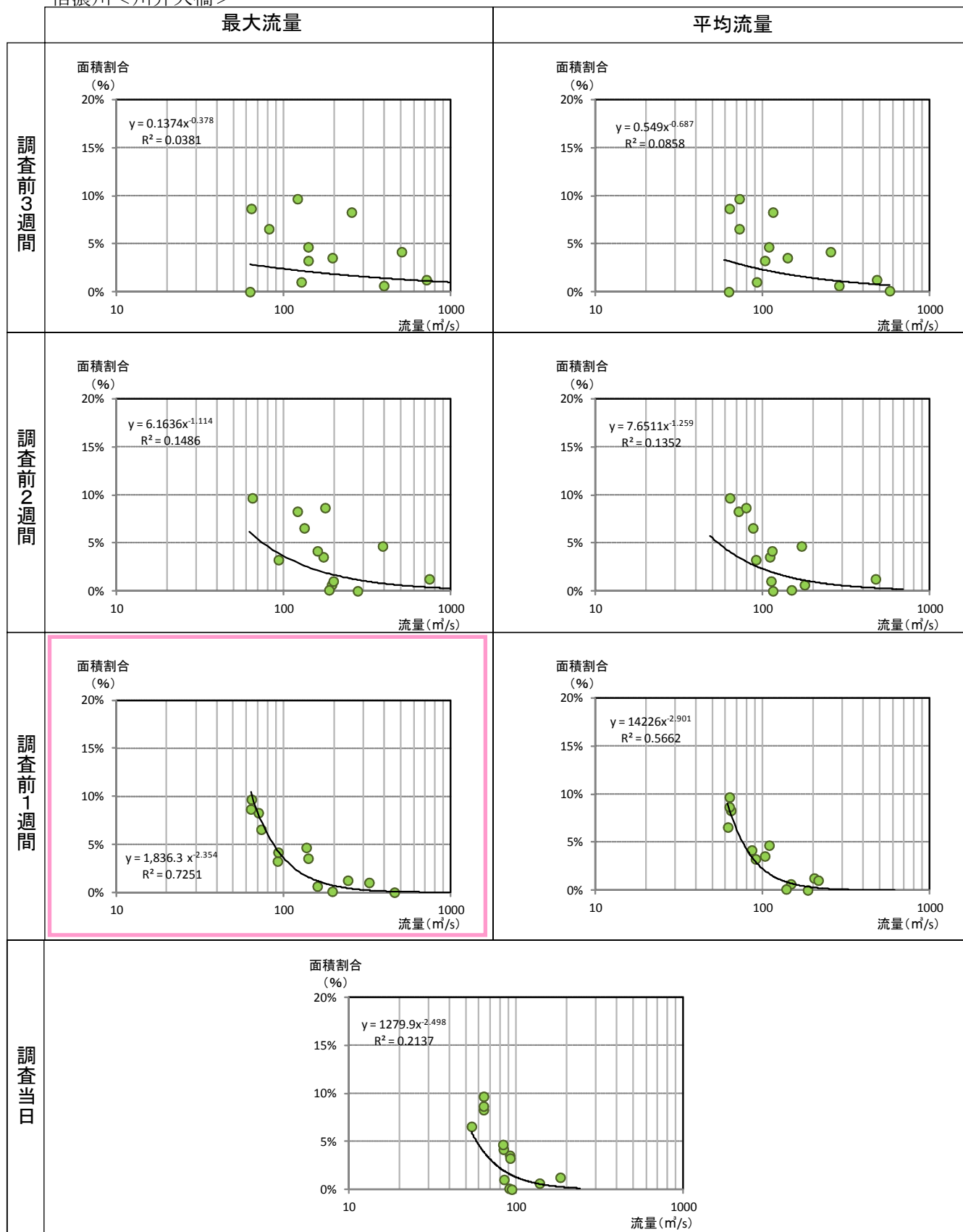


図 3.2.2-4(4) 異常繁茂区分（藻類区分3,4）の割合と流量の関係

3) 異常繁茂面積が 17%を下回る流量（試算）

異常繁茂面積と調査日から 1 週間前までの最大河川流量の最大値についてある程度の相関が認められることから、異常繁茂面積率と河川流量の関係を近似的に数式化し、異常繁茂面積が 17%を下回るための宮中取水ダム放流量を試算したものを表 3.2.2-1 に示す。

十日町橋地点では $41\text{m}^3/\text{s}$ 、川井大橋地点では $38\text{m}^3/\text{s}$ と推計されたが、相関係数 (R^2) が十日町橋地点で 0.5026、川井大橋地点で 0.7453 であり、あくまで参考として取り扱うべき数値である。

なお、明瞭な関係は見出せなかった栄橋地点は、この試算を実施していない。

表 3. 2. 2-1 対象区間における異常繁茂区分（藻類区分 3, 4）の割合と流量の関係式

地点	関係式																
十日町橋	<div><p>流量: 調査日～1 週間前の最大値</p><p>注) ■は藻類繁茂が 0% のため除外した。(調査 3 日前までに 150m³/s 規模の放流を確認)</p></div>																
栄橋	<div><p>流量: 調査日～1 週間前の最大値</p><p>栄橋地点は砂利採取工事の影響により、各年の調査範囲（水域）が変化しているため藻類割繁茂割合と流量の相関がばらついている。</p></div>																
川井大橋	<div><p>流量: 調査日～1 週間前の最大値</p><p>注) ■は藻類繁茂が 0% のため除外した。(調査 3 日前までに 150m³/s 規模の放流を確認)</p></div>																
推計値	<table><tr><th>地点</th><th>関係式</th><th>宮中取水ダム 放流量(m³/s)</th><th>繁茂面積割合 (%)</th></tr><tr><td>十日町橋</td><td>$y = 19.498x^{-1.278}$</td><td>40.8</td><td>17.0%</td></tr><tr><td>栄橋</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr><tr><td>川井大橋</td><td>$y = 31.783x^{-1.438}$</td><td>38.0</td><td>17.0%</td></tr></table>	地点	関係式	宮中取水ダム 放流量(m ³ /s)	繁茂面積割合 (%)	十日町橋	$y = 19.498x^{-1.278}$	40.8	17.0%	栄橋	—	—	—	川井大橋	$y = 31.783x^{-1.438}$	38.0	17.0%
地点	関係式	宮中取水ダム 放流量(m ³ /s)	繁茂面積割合 (%)														
十日町橋	$y = 19.498x^{-1.278}$	40.8	17.0%														
栄橋	—	—	—														
川井大橋	$y = 31.783x^{-1.438}$	38.0	17.0%														

(2) 付着藻類の動態

付着藻類は、図 3.2.2-5 に示すとおり、種類により形態、付着方法が異なっており、平水時の流速が早い場所や、出水直後では、藍藻類や平面付着タイプの珪藻類などの付着力の高い藻類で構成される群集が形成され、平水時の流速が遅い場所や出水後長い間安定した流況では、付着柄型や糸状・帯状付型といった付着力は低い、立体的でサイズの大きいタイプの糸状藻類や、被覆型の藻類で構成される群集が形成されるとされている³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

非減水区間である上田橋と対象区間 3 地点において、藻類区分毎に藻類の種類、形態別の構成比について整理したものを図 3.2.2-6 に示す。

構成比をみると、藻類区分 1、2 では珪藻類糸状型の *Melosira varians* 等もみられるものの珪藻類付着型や藍藻類が多くみられ、珪藻類付着型の *Cocconeis placentula* (直立型)、*Cymbella turgidula v. turgidula* (柄伸張型) や藍藻類糸状型の *Homoeothrix janthina* (糸状・帯状伸張型) が優占種となっている。これらは、付着藻類群集形成の初期から中期に優占する群集であり^{5),6)}、また、*Homoeothrix janthina* は、日本の比較的清浄な河川で最も代表的な群集⁷⁾とされている種であった。

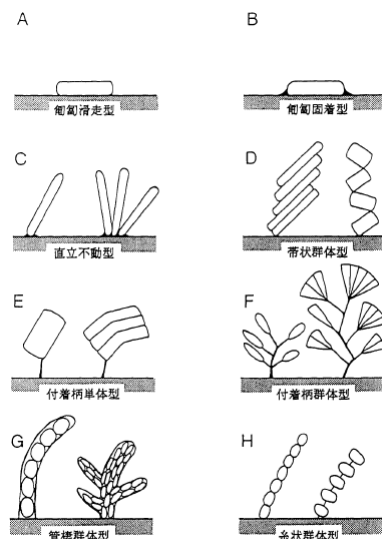
藻類区分 3、4 では珪藻類糸状型、緑藻類糸状型が多くみられ、珪藻類糸状型の *Melosira varians* (糸状・帯状伸張型)、珪藻類群体型の *Cymbella janischii*、緑藻類糸状型の *Spirogyra* sp. が優占種となっている。これらは、付着藻類群落の形成過程の中期から後期に優占する群集であり、特に *Spirogyra* sp. は最後に定着する⁸⁾と指摘されている種であった。

また、対象区間の 3 地点と非減水区間の上田橋地点では、確認種は異なるものの、藻類区分 1～4 それぞれで付着藻類の付着（生活）様式別の構成比が概ね類似していることが明らかになった。

分 類	種 の 例
基質水平方向に付着するタイプ	密着型 基物に密着するタイプ <i>Achnanthes japonica</i> , <i>Cocconeis placentula</i>
付着するタイプ	滑走型 基物表面を滑走するタイプ <i>Navicula</i> , <i>Nitzschia</i>
付着後、垂直方向へたちあがるタイプ	直立型 付着後、基物に一部で付着し、垂直方向に立ちあがるタイプ <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Nitzschia paleacea</i> , <i>Shnedra ulna</i>
付着後、垂直方向に伸長するタイプ	柄伸張型 付着後、垂直方向に、分泌液からなる柄が伸びていくタイプ <i>Cymbella turgidula</i> , <i>Gomphonema</i>
	糸状・帯状伸長型 (珪藻類) 付着後、垂直方向に糸状・帯状の群体を形成し、伸長するタイプ <i>Melosira varians</i> , <i>Diatoma vulgale</i> , <i>Fragilaria construens</i>
	糸状・帯状伸長型 (藍藻類、緑藻類など) <i>Homoeothrix janthina</i> , 糸状緑藻
水平方向に付着するタイプ	被覆型 基物表面にそって水平方向に広がり、覆うように付着するタイプ <i>Phormidium</i>

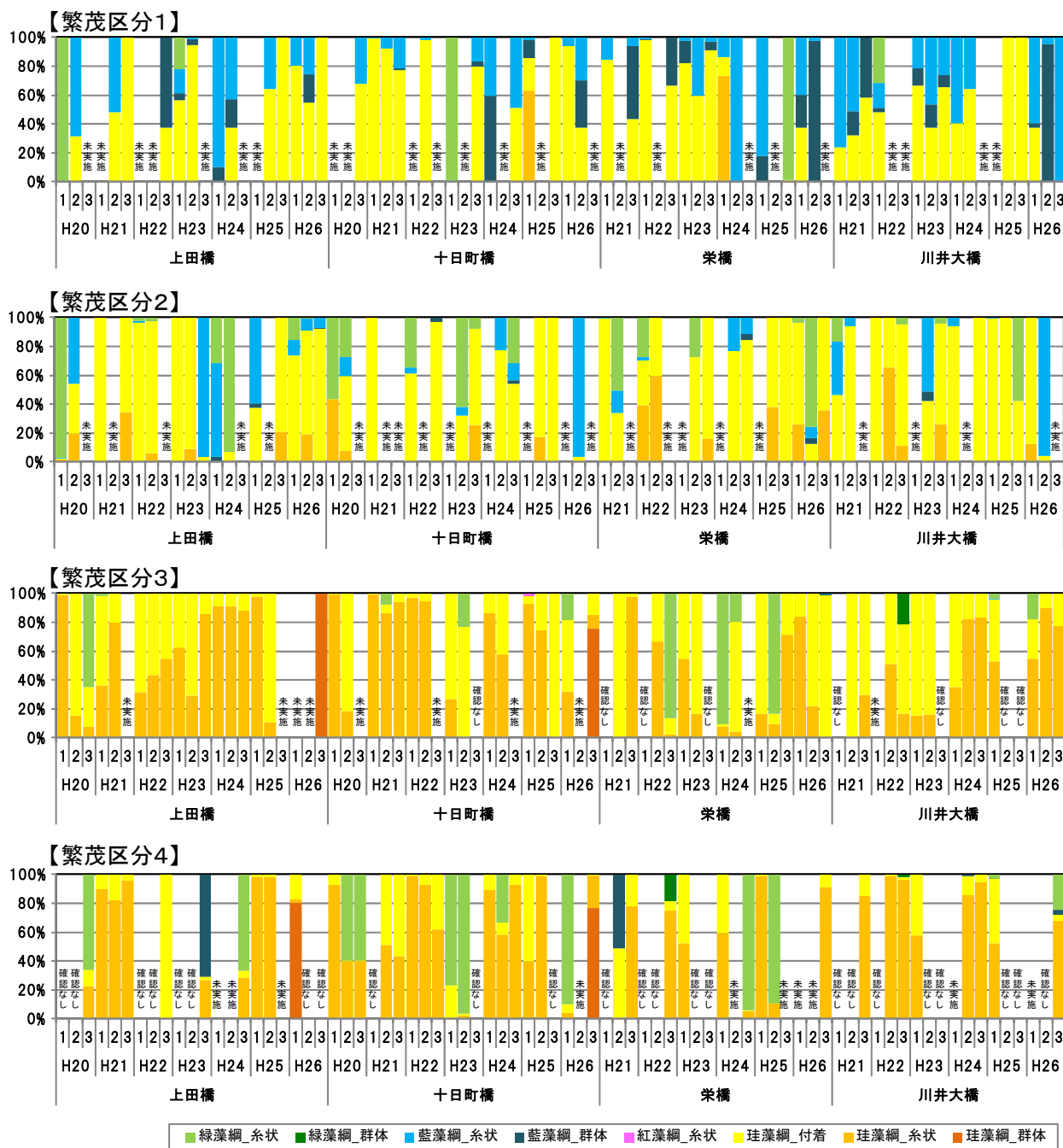
文献23)を参考に作成。

出典：ダム下流の河床付着膜の特徴とフラッシュ放流による掃流」(2007 年、土木技術資料 49-8, pp52-57 (皆川朋子・福島 悟・萱場祐一))



出典：付着珪藻—その生態と付着生物群集における役割」(1998 年、SESSILEORGANISMS 15(1), pp15-22 (河村智彦))

図 3.2.2-5 付着藻類の生活様式



注) 横軸の1,2,3は、各年の調査回。

図 3.2.2-6 付着藻類分類群構成

その他の藻類に関する文献情報を下記に示す。

- 平水時では流況が穏やかで安定している場所では、付着力の低い、大型の糸状藻類が優占する群集が形成される。このような群集は、出水により剥離されやすく、攪乱の影響を受けやすい^{9), 10)}。
- 出水による付着藻類の剥離について
 - 1：糸状藻類である *Melosira* 属を含む群集が剥離する流速は 0.7m/s であった¹¹⁾。
 - 2：珪藻類が優占する群集を用いた実験では、0.3m/s の流速においても剥離が観察された¹²⁾。
- 剥離速度は群集の発達とともに増加する¹³⁾。

3.2.3 底生動物

底生動物については、提言時に「宮中ダムによる減水区間については、非減水区間と比較して底生動物相に明確な差は見られない。減水年と非減水年の比較においても、流量の増加に起因すると明確に判断できる差異は認められなかった」とされている。

そこで、試験放流期間中の調査結果、これらの調査地点を含む周辺地点で調査が行われている河川水辺の国勢調査の結果等も含め整理するとともに、底生動物の流程別、年別の出現状況、生活型等のタイプ別の出現状況、環境を指標する指数等（スコア法、EPT 指数、移動性指数、多様度）の解析により、試験放流期間中の底生動物の生息状況について評価を試みる。

(1) 底生動物の生息状況の解析

1) 種類数、個体数の変化

底生動物の生息状況について、試験放流前後の定量調査結果(各年度・地点を 1m² 換算)を河川別、上下流及び調査年別に整理し、流程の変化、試験放流前後の変化の有無を確認した。

目別に整理した種数の変化の状況を表 3.2.3-1 に、個体数の変化の状況を表 3.2.3-2 に示す。

種数の変化については、確認された種数の多寡を 0（黄）～最大値（緑）の階調で表した。なお、近年の同定の細分化により種数が増加する可能性があるため、調査開始当時の平成 12 年河川水辺の国勢調査生物リストに準じて修正し、種数を計数した。

個体数の変化については、1m² あたりの個体数の多寡を 0（黄）～最大値（緑）の階調で表した。

対象区間の目別の種数に変化については、カゲロウ目は試験放流前が 5～18 種、試験放流後が 11～25 種、トンボ目は試験放流前が 0～1 種、試験放流後が 0～5 種、カワゲラ目は試験放流前が 0～2 種、試験放流後が 0～2 種、トビケラ目は試験放流前が 0～10 種、試験放流後が 7～15 種、ハエ目は試験放流前が 0～3 種、試験放流後が 1～5 種、コウチュウ目は試験放流前が 0～3 種、試験放流後が 0～4 種、その他の目は試験放流前が 0～7 種、試験放流後が 1～22 種であり、概ね増加傾向であった。

表 3.2.3-1 (1) 種数の変化の状況(カゲロウ目)

		信濃川										魚野川			
		5	18	28	38	47	50	58	65	74		5	8	17	24
		大河津分水路					信濃川					魚野川			
目名	種数	水国 渡部橋	水国 長岡大橋	水国 妙見堰 下流	現地 上片貝	水国 川井大橋	水国 魚沼橋 上流	現地 栄橋	水国 十日町橋	現地 上田橋		水国 八郎場	現地 宇賀地橋	現地 福山橋	水国 大和橋 下流
カゲロウ目	H11					11				10					
	H14	3	2		8				8						9
	H15									9					
	H16					7		6		7					
	H17					5		12		9					
	H18	21	16	12		13	5	16	9	10	7	13			14
	H21				17		15		13		18				
	H22				18		11		14		20		4	19	
	H23	24	24	26	17	18	13	16	21	25	17	29	19	17	30
	H24	試験放流			21		14		16		20		18	17	
	H25				20		15		13		19		15	15	
	H26				16		17		14		13		19	15	

表 3. 2. 3-1 (2) 種数の変化の状況(トンボ目)

		kp					← 47 50 58 65 →					5 8 17 24			
		大河津分水路					信濃川					魚野川			
目名	種数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	現地
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流		栄橋	十日町橋	上田橋	八郎場	宇賀地橋	福山橋
トンボ目	H11						0				0				
	H14	0	0			0				0	0				0
	H15										0				
	H16						0		0		0				
	H17						0		0		0				
	H18	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0		0
	H21				1		0		1		0	0			
	H22				0		2		1		1	1		3	2
	H23	1	5	12	0	5	0	0	1	5	0	1	3	0	0
	H24	試験放流			0		0		0		1	0		0	0
	H25				1		0		1		1	1		0	0
	H26				0		0		1		1	1		0	0

表 3. 2. 3-1 (3) 種数の変化の状況(カワゲラ目)

		kp					← 47 50 58 65 →					5 8 17 24			
		大河津分水路					信濃川					魚野川			
目名	種数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	現地
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流		栄橋	十日町橋	上田橋	八郎場	宇賀地橋	福山橋
カワゲラ目	H11						0				1				
	H14	0	0			3				0	1				2
	H15										1				
	H16						1		0		1				
	H17						0		1		0				
	H18	0	0	1		0	0	0	0	0	0		0		0
	H21				2		1		2		2	1			
	H22				1		1		1		2	0		0	2
	H23	0	0	0	2	0	1	0	1	1	1	1	0	2	1
	H24	試験放流			2		1		2		1	0		2	2
	H25				3		2		2		2	0		0	2
	H26				2		1		1		1	0		2	2

表 3. 2. 3-1 (4) 種数の変化の状況(トビケラ目)

		kp					← 47 50 58 65 →					5 8 17 24			
		大河津分水路					信濃川					魚野川			
目名	種数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	現地
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流		栄橋	十日町橋	上田橋	八郎場	宇賀地橋	福山橋
トビケラ目	H11						5				5				
	H14	4	4			1				0	5				4
	H15										5				
	H16						6		7		9				
	H17						2		6		4				
	H18	8	8	5		4	4	10	1	6	5		3		1
	H21				10		6		10		9	7			
	H22				10		10		10		10	10		10	8
	H23	9	8	9	8	6	8	7	9	8	8	11	13	8	7
	H24	試験放流			10		11		11		11	12		13	11
	H25				11		10		11		12	11		8	6
	H26				11		14		15		12	9		13	7

表 3. 2. 3-1 (5) 種数の変化の状況(ハエ目)

		kp					← 47 50 58 65 →					5 8 17 24			
		大河津分水路					信濃川					魚野川			
目名	種数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	水国
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流	栄橋	十日町橋	上田橋		八郎場	宇賀地橋	大和橋下流
ハエ目	H11						1				3				
	H14	2	1			0				2	3				3
	H15										0				
	H16						1		1		2				
	H17						1		1		2				
	H18	3	1	2		1	1	1	1	1	2		2		2
	H21				4		1		3		3	3			
	H22				2		2		2		2	2		0	4
	H23	4	6	6	3	6	1	4	3	4	2	2	6	4	3
	H24	試験放流			3		3		1		3	3		3	5
	H25				6		4		2		3	4		3	6
	H26				4		3		3		5	3		5	3

表 3. 2. 3-1 (6) 種数の変化の状況(コウチュウ目)

		kp					← 47 50 58 65 →					5 8 17 24			
		大河津分水路					信濃川					魚野川			
目名	種数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	水国
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流	栄橋	十日町橋	上田橋		八郎場	宇賀地橋	大和橋下流
コウチュウ目	H11						0				0				
	H14	0	0			0				1	0				0
	H15										0				
	H16						2		2		3				
	H17						0		0		0				
	H18	1	1	0		1	0	0	0	0	0		1		0
	H21				1		0		2		0	0			
	H22				1		0		2		0	1		0	2
	H23	1	3	8	1	5	0	2	2	4	1	2	2	0	1
	H24	試験放流			0		1		1		2	0		2	1
	H25				1		2		3		4	2		0	0
	H26				2		1		2		4	1		0	0

表 3. 2. 3-1 (7) 種数の変化の状況(その他の目)

		kp					← 47 50 58 65 →					5 8 17 24			
		大河津分水路					信濃川					魚野川			
目名	種数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	水国
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流	栄橋	十日町橋	上田橋		八郎場	宇賀地橋	大和橋下流
その他	H11						0				5				
	H14	0	2			0				3	0				1
	H15										0				
	H16						0		3		2				
	H17						0		3		1				
	H18	4	1	2		1	0	0	0	1	0		1		0
	H21				2		2		3		7	4			
	H22				1		1		3		6	4		2	5
	H23	6	11	21	3	15	1	3	5	22	2	10	6	2	2
	H24	試験放流			4		2		4		5	8		7	5
	H25				6		3		6		4	6		0	1
	H26				2		6		5		4	6		10	7

対象区間の目別の 1m² あたり個体数の変化については、カゲロウ目は試験放流前が 238～5,808 個体、試験放流後が 501～11,112 個体、トンボ目は試験放流前が 0～6 個体、試験放流後が 0～15 個体、カワゲラ目は試験放流前が 0～14 個体、試験放流後が 0～84 個体、トビケラ目は試験放流前が 0～2,458 個体、試験放流後が 115～8,429 個体、ハエ目は試験放流前が 2～2,356 個体、試験放流後が 109～5,152 個体、コウチュウ目は試験放流前が 0～116 個体、試験放流後が 0～141 個体、その他の目は試験放流前が 0～212 個体、試験放流後が 0～991 個体であり、種数同様に概ね増加傾向であった。

表 3.2.3-2(1) 個体数の変化の状況(カゲロウ目)

宮中取水ダム下流から魚野川合流点 までの区間(対象区間)																		
kp		5182838					47505865					74		581724				
		大河津分水路					信濃川							魚野川				
目名	個体数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	現地	水国	現地	現地	水国	
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝	川井大橋	魚沼橋上流	栄橋	十日町橋	上田橋	八郎場	宇賀地橋	福山橋	大和橋下流				
カゲロウ目	H11					854					1,384							
	H14	128	96		976					1,104	1,112						1,248	
	H15										858							
	H16					2,144		1,384			852							
	H17					238		490			398							
	H18	4,912	4,448	5,616		2,224	564	5,808	900	1,360	792			688			800	
	H21				1,100		490		1,036		3,224	728						
	H22				707		693		501		1,847	1,461			1,569	2,504		
	H23	5,360	1,232	272	1,296	48	1,145	576	2,136	1,152	1,565	4,505		3,040	247	105	2,320	
	H24	試験放流			4,744		6,891		11,112		5,775	11,103			4,805	5,784		
	H25				1,176		1,519		1,075		1,427	1,288			476	1,313		
	H26				5,199		2,080		2,136		1,939	3,492			3,601	5,355		

表 3.2.3-2(2) 個体数の変化の状況(トンボ目)

		宮中取水ダム下流から魚野川合流点 までの区間(対象区間)															
kp		5182838					47505865					74	581724				
		大河津分水路					信濃川					魚野川					
目名	個体数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	現地	水国	現地	現地	水国
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝	川井大橋	魚沼橋上流	栄橋	十日町橋	上田橋	八郎場	宇賀地橋	福山橋	大和橋下流			
トンボ目	H11					0				0							
	H14	0	0		0				0	0						0	
	H15										0						
	H16					0		0			6						
	H17					0		2	0		0						
	H18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0			0
	H21				2	0		2		0	2						
	H22				1	3		11		3	12			7	8		
	H23	48	0	0	1	0	0	0	4	0	1	11		0	1	1	0
	H24	試験放流			0		8		0		5	3			13		
H25				4	0		5		15	24			5	5			
H26				11	0		4		5	3			16	1			

表 3. 2. 3-2 (3) 個体数の変化の状況(カワゲラ目)

		宮中取水ダム下流から魚野川合流点 までの区間(対象区間)														
kp		5 18 28 38					47 50 58 65					74 5 8 17 24				
		大河津分水路					信濃川					魚野川				
目名	個体数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	水国	
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰 下流	上片貝	川井大橋	魚沼橋 上流	栄橋	十日町橋	上田橋	八郎場	宇賀地橋	福山橋	大和橋 下流		
カワゲラ目	H11						0				4					
	H14	0	0			368				0	4				32	
	H15										10					
	H16						8		0		4					
	H17						14		2		0					
	H18	0	0	32		0	0	0	0	0	0		0		0	
	H21				24		6		14		12	2				
	H22				11		11		16		9	0		0	29	
	H23	0	0	0	4	0	1	0	24	0	4	1	0	3	1	0
	H24	試験放流			7		15		17		84	0		48	32	
	H25				12		12		23		20	0		5	7	
H26				29		21		9		17	0		39	13		

表 3. 2. 3-2 (4) 個体数の変化の状況(トビケラ目)

		← 宮中取水ダム下流から魚野川合流点 までの区間(対象区間) →																		
kp		5182838					47505865					74	581724							
		大河津分水路					信濃川										魚野川			
目名	個体数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	現地	水国	現地	現地	水国			
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流		栄橋	十日町橋	上田橋		八郎場	宇賀地橋	福山橋	大和橋下流			
トビケラ目	H11						912				300									
	H14	256	432			16				0	258						1,232			
	H15										920									
	H16						2,458		2,128		1,346									
	H17						38		90		96									
	H18	3,184	576	384		80	552	624	124	224	420			80			16			
	H21				2,646		180		1,604		1,630	568								
	H22				1,409		477		481		1,413	910			1,864	1,759				
	H23	7,296	80	160	1,863	192	115	256	548	368	392	867		5,760	251	47	352			
	H24	試験放流			4,175		4,652		8,429		3,191	2,377			3,511	1,880				
	H25				3,092		1,087		1,647		1,511	1,393			2,601	963				
	H26				5,344		1,707		1,867		569	673			4,793	939				

表 3. 2. 3-2 (5) 個体数の変化の状況(ハエ目)

		← 宮中取水ダム下流から魚野川合流点 までの区間 (対象区間) →																		
kp		5182838					47505865					74	581724							
		大河津分水路					信濃川										魚野川			
目名	個体数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	現地	水国	現地	現地	水国			
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰 下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋 上流		栄橋		十日町橋	上田橋		八郎場	宇賀地橋	福山橋	大和橋 下流		
ハエ目	H11						388					304								
	H14	304	272			0				880		492					544			
	H15											46								
	H16						120		144			34								
	H17						2		38			62								
	H18	12,736	2,720	16,528		7,808	996	688	1,576	560	2,356				7,840			1,248		
	H21				398		96		92		498	1,442								
	H22				232		109		156		1,771	444			880	616				
	H23	720	352	1,552	896	320	281	1,120	407	5,152	809	440		2,656	205	221	3,648			
	H24	試験放流			1,876		2,601		4,357		3,731	2,472			2,025	5,255				
	H25				1,201		1,236		571		1,144	1,351			1,723	568				
	H26				1,144		583		387		224	241			6,475	4,188				

表 3. 2. 3-2 (6) 個体数の変化の状況(コウチュウ目)

		<div> <div> <div>5</div> <div>18</div> <div>28</div> <div>38</div> </div> <div> <div>47</div> <div>50</div> <div>58</div> <div>65</div> <div>74</div> </div> </div>										<div> <div>5</div> <div>8</div> <div>17</div> <div>24</div> </div>			
		大河津分水路					信濃川					魚野川			
目名	個体数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	現地
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流	栄橋	十日町橋	上田橋		八郎場	宇賀地橋	福山橋
コウチュウ目	H11						0				0				
	H14	0	0			0				16	0				0
	H15										58				
	H16						26		104		116				
	H17						0		0		0				
	H18	96	16	0		32	0	0	0	0	0		32		0
	H21				32		2		10		0	2			
	H22				3		4		16		5	8		27	16
	H23	16	0	0	5	0	1	0	4	0	7	8	48	4	8
	H24	試験放流			1		45		19		141	25		64	25
	H25				5		25		40		36	37		40	3
	H26				8		93		35		67	8		64	1

表 3. 2. 3-2 (7) 個体数の変化の状況(その他の目)

		<div> <div> <div>5</div> <div>18</div> <div>28</div> <div>38</div> </div> <div> <div>47</div> <div>50</div> <div>58</div> <div>65</div> <div>74</div> </div> </div>										<div> <div>5</div> <div>8</div> <div>17</div> <div>24</div> </div>			
		大河津分水路					信濃川					魚野川			
目名	個体数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	現地
		渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流	栄橋	十日町橋	上田橋		八郎場	宇賀地橋	福山橋
その他	H11						0				18				
	H14	0	224			0				176	2				16
	H15										212				
	H16						0		28		162				
	H17						0		10		4				
	H18	432	48	48		16	0	0	0	32	0		48		0
	H21				290		12		46		68	1,342			
	H22				5		4		24		155	89		173	115
	H23	80	400	64	16	0	88	80	51	0	65	463	80	8	4
	H24	試験放流			59		99		124		957	960		327	235
	H25				44		79		87		495	464		29	12
	H26				117		229		991		368	156		579	212

2) タイプ別（生活型、汚濁耐性、環境選好性）の出現状況の変化

確認された底生動物の生活型、汚濁耐性、環境選好性に着目して出現状況の経年的な変化を整理した。

イ) 生活型

竹門 2005¹⁾、谷田 2010²⁾により確認種を遊泳型、匍匐型、造網型、携巢型、固着型、掘潜型の6区分に分け、瀬淵別、年別に面積当たりの確認個体数を整理したところ、瀬における石礫の表面を匍匐するタイプの出現状況に試験放流前後での変化がみられたため、瀬の匍匐型の出現状況について検討を行った。（図 3. 2. 3-1 を参照）

対象区間の十日町橋、栄橋、川井大橋では、試験放流前(グラフ赤色の棒)に比べて、試験放流後(グラフ青色の棒)の出現数が大きくなっている。また、試験放流後の対象区間3地点は、対象区間上流の上田橋、下流の上片貝、魚野川の福山橋、宇賀地橋と比較して同程度の個体数が確認された。

匍匐型は、河床表面や石の上を脚で這うようにして移動するタイプや扁平な体形で滑らかな基質表面上を滑るようにすばやく移動するタイプがあり、対象区間では人頭大の丸石の表面を

移動しながら藻類を摂食するサツキヒメヒラタカゲロウ、キブネタニガワカゲロウ等が確認されている。

これらの種は藻類量が多ければ好適な餌環境であると考えられるが、付着藻類が発達しすぎると生息できなくなるため、適度に付着藻類の剥離がみられるところで増加する¹⁾とされている。試験放流により流量が増加したことにより、石礫上に増殖する付着藻類の剥離が促進されたことにより個体数が増加したと考えられる。

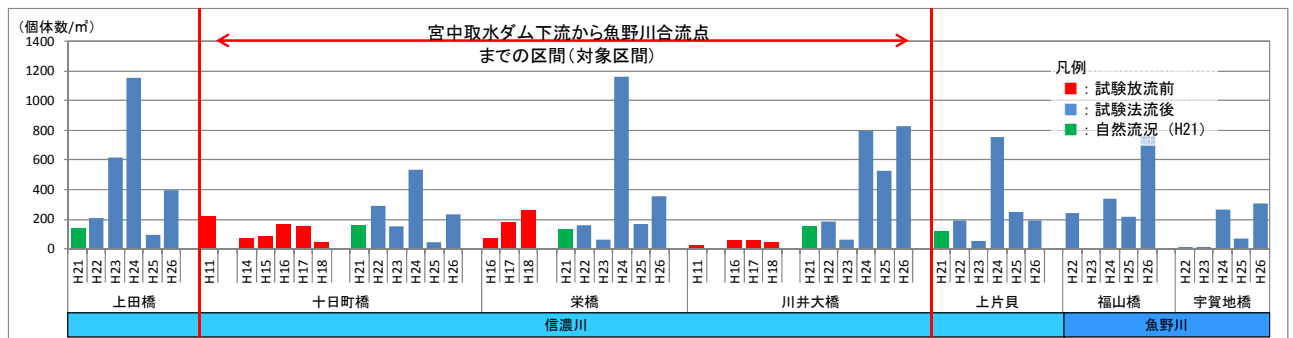


図 3. 2. 3-1 瀬における匍匐型の出現状況

ロ) 汚濁耐性

谷田 2010²⁾をもとに耐性の有無の2つに区分したのち、瀬淵別、年別に面積当たりの確認個体数を整理したところ、瀬における非汚濁耐性種の出現状況に試験放流前後での変化がみられたため、瀬の非汚濁耐性種の出現状況について検討を行った。(図 3. 2. 3-2 を参照)

対象区間の十日町橋、栄橋、川井大橋では、試験放流前(グラフ赤色の棒)に比べて、試験放流後(グラフ青色の棒)の出現数が大きくなっている。また、試験放流後の対象区間3地点は、対象区間上流の上田橋、下流の上片貝、魚野川の福山橋、宇賀地橋と比較して同程度の個体数が確認された。

非汚濁耐性種は、流れのある清冽な環境に多い種であり、ヒゲナガカワトビケラ、ムナグロナガレトビケラ等が確認されている。これらの種は試験放流により流量が増加したことにより、流れのある瀬の面積が増加し生息密度が高まったと考えられる。

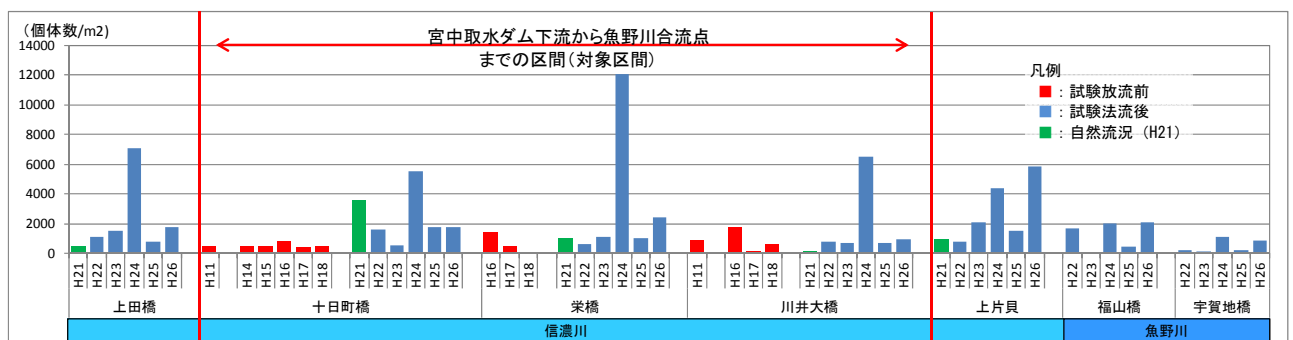


図 3. 2. 3-2 瀬における非汚濁耐性種の出現状況

ハ) 環境選好性

環境選好性を流水性、止水性の2つに区分したのち、瀬淵別、年別に面積当たりの確認個体数を整理したところ、瀬の流水性、淵の止水性について出現状況に試験放流前後での変化がみられたため、瀬の流水性、淵の止水性の環境選好性別の出現状況について検討を行った（図3.2.3-2を参照）

対象区間の十日町橋、栄橋、川井大橋では、試験放流前（グラフ赤色の棒）に比べて、試験放流後（グラフ青色の棒）の出現数が共に大きくなっている。さらに、流水性の種は試験放流後の対象区間3地点で、対象区間上流の上田橋、下流の上片貝、魚野川の福山橋、宇賀地橋と同程度の個体数が確認されているが、止水性の種は試験放流後の対象区間3地点が、上田橋よりも少なく、魚野川2地点よりも多く確認されている。

流水性の種は瀬を好む種であり、礫間に網を張り流下物を摂食するウルマーシマトビケラ等が確認されている。これらの種は試験放流により流量が増加したことにより、流れのある瀬の面積が増加し生息密度が高まったと考えられる。

止水性種はDコカゲロウ、ヒメウスバコカゲロウ属等が確認されている。これらの種は試験放流により流量が増加したことにより、ワンド等の面積も増加し生息密度が高まったと考えられる。

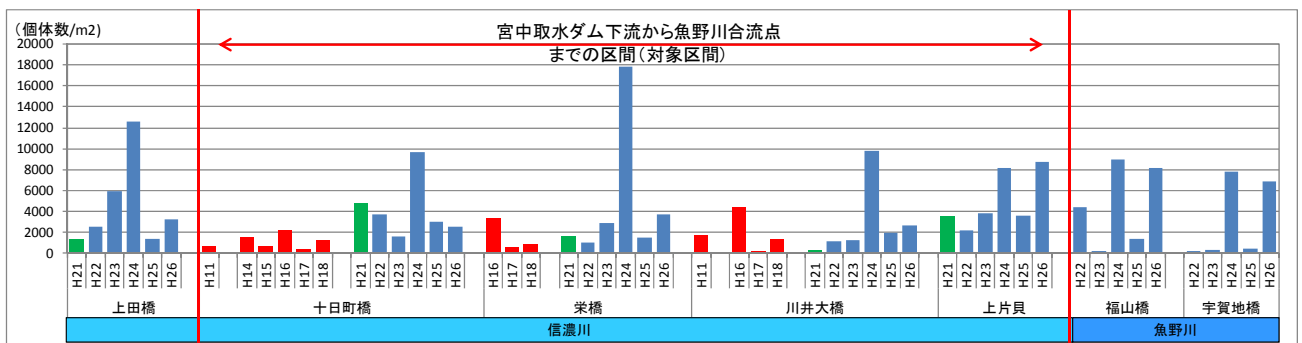


図 3.2.3-3(1) 瀬における流水性種の出現状況

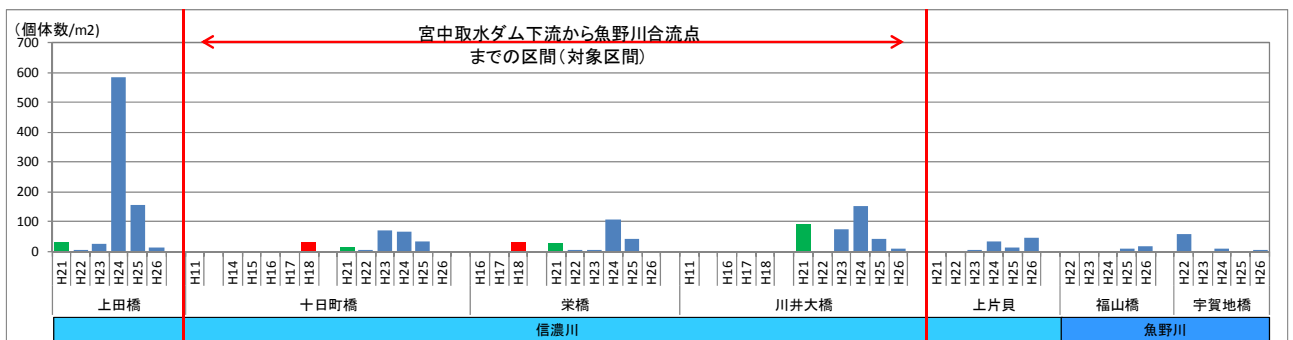


図 3.2.3-3(2) 淵における止水性種の出現状況

生活型、汚濁耐性及び環境選好性の検討により、十日町橋、栄橋、川井大橋の各地点では、いずれも試験放流前と比較して試験放流後は流量が増加したことにより瀬やワンドの面積が増えたため、出現数が増加したものと考えられる。

3) 環境を指標する指数（スコア法、EPT 指数、移動性指数、多様度）の解析

種類数、個体数をもとに、各年度・地点別のスコア値、EPT 指数、移動性指数、多様度を算出し、また、各指標について試験放流前に対する試験放流後の比率を算出した。

イ) スコア値

スコア値は、「川に住む生き物を使って水の汚れを調べる」という考えのもと広く認知されている（野崎 2012）³⁾。それぞれの科のスコアは 1～10 であるので、平均スコアもその範囲の値をとる。出現頻度の高い、コカゲロウ、シマトビケラ、ユスリカなどの科などのスコアが、6 から 7 程度と比較的低いために、水質の良好な地点でも平均スコアも 8 を超えることは少ない（谷田 2012）⁴⁾。

各地点で出現した科のスコアを合計し、それを出現科数で除した値であり、日本版平均スコア法⁴⁾に基づき算出した。各種のスコアは改訂スコア表（環境省案 2012）を用いた。スコア値の変化の状況を表 3.2.3-3 に示す。

対象区間のスコア値は、試験放流前が 5.1～8.0、試験放流後が 5.59～7.05 であり、試験放流前後の比率は 0.99 であり平均値は同程度であった。

表 3.2.3-3 スコア値の変化の状況

<div> <div> <div>5</div> <div>18</div> <div>28</div> <div>38</div> </div> <div> <div>47</div> <div>50</div> <div>58</div> <div>65</div> </div> <div>74</div> </div>												<div> <div>5</div> <div>8</div> <div>17</div> <div>24</div> </div>				<div> <div>対象区間の放流前後の比率 (放流後 / 放流前) (青: 増加、赤: 減少)</div> <div>0.99</div> </div>	
大河津分水路						信濃川						魚野川					
平均スコア	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	現地	水国		
	渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流	栄橋	十日町橋	上田橋		八郎場	宇賀地橋	福山橋	大和橋下流		
H11						6.33				6.25							
H14	6.43	6.17			7.14				6.11	6.40					6.08		
H15										8.00							
H16						6.36		5.79		6.56							
H17						7.60		6.15		5.56							
H18	5.11	5.85	5.23		5.90	6.33	5.82	6.71	5.10	6.89		5.18			5.75		
H21				6.75		6.25		6.76		5.15	5.88						
H22				6.63		6.00		6.33		6.36	5.95		6.92	6.13			
H23	5.83	5.80	5.56	6.39	5.50	6.42	5.70	6.30	5.83	6.50	5.52	6.21	6.89	6.69	6.56		
H24	試験放流 期間			5.84		6.33		6.22		6.30	5.85		5.32	5.14			
H25				6.50		7.05		5.59		6.73	5.90		6.58	6.63			
H26				6.71		6.78		5.75		6.00	5.64		6.32	5.32			

※表中の数字はスコア値を示す。網掛けの色は最小値（黄）～最大値（緑）のグラデーションで示した。

ロ) EPT 指数

EPT 指数は、E：カゲロウ目、P：カワゲラ目、T：トビケラ目の合計種数を全確認種で除した値であり、底生動物を用いて水質の良好さを表す方法のひとつとされてきたが、近年は河川環境の健全さ指標として位置づけられる⁵⁾。

$$EPT \% = \frac{E + P + T}{\text{水生昆虫総個体数}}$$

E：カゲロウ目個体数 P：カワゲラ目個体数 T：トビケラ目個体数

EPT 値の変化の状況を表 3. 2. 3-4 に示す。対象区間の EPT 値は、試験放流前が 0.57～1.00、試験放流後が 0.44～0.71 であり、試験放流前後での対象区間における EPT 値の比率は 0.79 とやや低下した。ただし、対象区間を含む信濃川及び魚野川全地点で評価した場合でも試験放流前の平均値が 0.76、試験放流後が 0.59、比率が 0.78 となり、EPT 指数低下は対象区間だけの状況ではない。

表 3. 2. 3-4 EPT 値の変化の状況

kp

51828384750586574

大河津分水

信濃川

魚野川

EPT
指数

水国
渡部橋

水国
長岡大橋

水国
妙見堰
下流

現地
上片貝

水国

現地
川井大橋

水国
魚沼橋
上流

現地

水国
栄橋

現地
十日町橋

現地
上田橋

水国

現地

現地

水国

H11

0.84

0.67

H14

0.78

0.67

1.00

0.57

0.78

0.75

H15

1.00

H16

0.78

0.62

0.68

H17

0.88

0.73

0.76

H18

0.73

0.83

0.67

0.71

0.90

0.93

0.83

0.76

0.86

0.83

H21

0.73

0.76

0.69

0.60

0.55

H22

0.71

0.71

0.64

0.60

0.63

0.74

0.54

H23

0.65

0.45

0.36

0.64

0.38

0.68

0.63

0.60

0.44

0.65

0.48

0.61

0.67

0.60

0.48

H24

試験放流
期間

0.66

0.60

0.67

0.64

0.62

0.60

0.56

H25

0.58

0.59

0.58

0.58

0.53

0.70

0.59

H26

0.67

0.64

0.63

0.53

0.60

0.54

0.50

対象区間の放流
前後の比率
(放流後
/放流前)
(青: 増加、
赤: 減少)

0.79

※表中の数字は EPT 指数を示す。網掛けの色は最小値（黄）～最大値（緑）のグラデーションで示した。

ハ) 移動性指数

移動性指数 (M_N) は、カゲロウ目 (E)、カワゲラ目 (P) の合計種数を E、P、トビケラ目 (T) の合計種数で除した値であり、特に巣を作らず、能動的に空間移動を行う、攪乱時の避難や攪乱後の再帰が比較的容易な種の豊富さを⁵⁾示し、この指数が高いということは、攪乱に適応した底生動物群集が成立していることを意味する。

$$M_N = \frac{E + P}{E + P + T}$$

E : カゲロウ目個体数 P : カワゲラ目個体数 T : トビケラ目個体数

移動性指数の変化の状況を表 3. 2. 3-5 に示す。

対象区間の移動性指数は、試験放流前が 0.46～1.00、試験放流後が 0.5～0.78 であった。試験放流前後での対象区間における移動性指数の比率は 0.95 であり、地点毎のばらつきは見られるものの、放流試験前後の平均値はほぼ同程度であった。

表 3.2.3-5 MN 指数の変化の状況

<div> <div>kp</div> <div>5182838</div> <div>4750586574</div> </div>												<div> <div>581724</div> </div>			
大河津分水路						信濃川						魚野川			
MN指数	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	現地	水国
	渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流	栄橋		十日町橋	上田橋	八郎場	宇賀地橋	福山橋	大和橋下流
H11						0.69				0.69					
H14	0.43	0.33			0.92				1.00	0.64					0.73
H15										0.67					
H16						0.57		0.46		0.47					
H17						0.71		0.68		0.69					
H18	0.72	0.67	0.72		0.76	0.56	0.62	0.90	0.63	0.58		0.81			0.93
H21				0.66		0.73		0.60		0.69	0.71				
H22				0.66		0.55		0.60		0.69	0.62		0.29	0.72	
H23	0.73	0.75	0.74	0.70	0.75	0.64	0.70	0.71	0.76	0.69	0.61	0.69	0.72	0.72	0.71
H24	試験放流期間			0.70		0.58		0.62		0.66	0.61		0.61	0.63	
H25				0.68		0.63		0.58		0.64	0.56		0.65	0.74	
H26				0.62		0.56		0.50		0.54	0.65		0.62	0.71	

対象区間の放流前後の比率（放流後／放流前）（青：増加、赤：減少）

0.94

※表中の数字は MN 指数を示す。網掛けの色は最小値（黄）～最大値（緑）のグラデーションで示した。

二）多様度

多様度は、「種の豊富さ」と「均等度」をもとに、群集の多様性を表す指標で指数が大きいほど、多様性が高い。ここでは、下記式により Shannon 指数(H')を算出した。

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

S : 群集に含まれる種の数 p_i : 種 i の個体数が、群集の全個体数に占める割合

Shannon 指数の変化の状況を表 3.2.3-6 に示す。

対象区間の Shannon 指数は、試験放流前が 1.6～3.5、試験放流後が 1.7～4.1 であった。試験放流前後の Shannon 指数の比率は 1.16 であり平均値ではやや多様度が高くなっていた。

表 3.2.3-6 多様度の変化の状況

<div> <div>kp</div> <div>5182838</div> <div>4750586574</div> </div>												<div> <div>581724</div> </div>			
大河津分水路						信濃川						魚野川			
多様度H	水国	水国	水国	現地	水国	現地	水国	現地	水国	現地	現地	水国	現地	現地	水国
	渡部橋	長岡大橋	妙見堰下流	上片貝		川井大橋	魚沼橋上流	栄橋		十日町橋	上田橋	八郎場	宇賀地橋	福山橋	大和橋下流
H11						2.2				2.8					
H14	2.5	2.7			3.1				2.9	2.5					3.0
H15										3.1					
H16						3.0		3.0		3.1					
H17						2.4		3.1		2.9					
H18	2.4	3.1	1.6		1.5	1.6	3.1	1.9	2.7	1.8		0.8			2.3
H21				2.8		3.2		3.5		2.8	3.3				
H22				3.3		2.9		3.5		3.5	3.5		2.1	4.0	
H23	3.6	2.8	1.6	3.0	1.9	2.6	2.4	3.1	1.7	3.3	3.4	3.5	3.5	3.1	2.7
H24	試験放流期間			3.2		2.9		2.8		3.4	3.3		3.1	3.2	
H25				3.5		3.4		3.5		3.6	3.7		3.1	3.1	
H26				3.1		4.1		3.7		3.3	3.3		3.3	3.1	

対象区間の放流前後の比率（放流後／放流前）（青：増加、赤：減少）

1.16

※表中の数字は多様度指数（Shannon 指数）を示す。網掛けの色は最小値（黄）～最大値（緑）のグラデーションで示した。

【参考文献】

・ 3.1.2 水温

- 1) 「水理公式集 昭和 60 年版」(1985 年、土木学会)
- 2) 「気候変動による国内のダム湖水質への影響評価」(2012 年、土木学会論文集 G(環境)、Vol. 68、NO. 5、pp. I_127-I_135 (梅田信・落合雄太))

・ 3.1.3 河川形態

- 1) 「河川が有する生態的機能の実験的把握手法の開発及び実験的解明に関する調査」(萱場祐一、皆川朋子、中村圭吾、土木研究所成果報告書 土木研究所成果報告書 2005 年度、423-498, 2005 土木研究所)

・ 3.2.1.1 魚類

- 1) 「川の生物図典」(1996 年、(財)リバーフロント整備センター)
- 2) 「山溪カラー名鑑 日本の淡水魚 改訂版」(2001 年、(株)山と溪谷社)
- 3) 「最新 魚道の設計 一魚道と関連施設一」(平成 10 年、(財)ダム水源地環境整備センター)
- 4) 「ウナギ大回遊の謎」(2012 年、(株)PHP 研究所)
- 5) 「正常流量検討の手引き (案)」(平成 19 年 9 月、国土交通省河川環境課)
- 6) 「アユ・ワカサギに関する生態について」(環境省)
- 7) 「アユの産卵に適した河床形態に関する研究」(平成 23 年 6 月、京都大学防災研究所年報第 54 号 B)」
- 8) 「中央環境審議会水環境部会 水生生物保全環境基準類型指定専門委員会 (第 10 回) 参考資料」(平成 19 年 11 月)
- 9) 「水産生物適水温図」(昭和 55 年 1 月、(社)日本水産資源保護協会)
- 10) 「環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理」(昭和 51 年、(社)日本水産資源保護協会)
- 11) 「ARRC NEWS No. 8」(平成 18 年、(独)土木研究所 自然共生研究センター)
- 12) 「環境が河川生物及び漁業に及ぼす影響を判断するための「判定基準」と「事例」」(1994 年、(社)日本水産資源保護協会)
- 13) 「さけ・ます類の河川遡上生態と魚道」(2004 年、さけます資源管理センターニュース (13) : 1-7 (真山 紘))
- 14) 「信濃川のサケ漁」(2014 年、日本財団 WEB 図書館 (平成 26 年 12 月 28 日閲覧))
- 15) 「平成 24 年度国際漁業資源の現況 サケ (シロザケ) 日本系」(2013 年、水産庁・水産総合研究センター)
- 16) 「サケの放流数と来遊数及び回帰率の推移」(2014 年、独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所ホームページ (平成 26 年 12 月 28 日閲覧))

- 17) 「A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids.」
(1969 年、Journal of Fish Biology, 1:85-136 (Banks, J. W.))
- 18) 「石狩川におけるシロザケ *Oncorhynchus keta* の遡上行動—テレメトリーシステムの利用—」(2009 年、応用生態工学, 12(2): 119-130 (有賀 誠・津田裕一・本多健太郎・光永 靖・三原孝二・宮下和士))
- 19) 「標津川における EMG 発信機を用いたシロザケ親魚の遡上行動解析」(2008 年、海洋と生物, 30(2), 150-156 (牧口祐也・新居久也・中尾勝哉・上田 宏))
- 20) 「バイオテレメトリーシステムを用いた魚類の遡上行動解析」(2012 年、平成 24 年度国土技術研究会発表資料 (林田寿文・新居久也・春日慶一))
- 21) 「Influence of a dam on Atlantic salmon (*Salmo salar*) upstream migration in the Couesnon River (Mont Saint Michael Bay) using hydroacoustics.」(2013 年、Estuarine, Coastal and Shelf Science, (2013)1-7 (F. Martignac, et. Al.))
- 22) 「シロザケ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理」(1983 年、(社)日本水産資源保護協会)
- 23) 「西別川における鮭遡上の一考察」(1937 年、養殖学会誌, 7 (4) 81-84 (三浦兼佑))
- 24) 「サケ・マス親魚の生態調査-II 千歳川におけるサケ親魚の遡上活動の日周変動」(1978 年、さけ・ますふ化場研究報告, 32: 9-18 (真山紘))
- 25) 「心拍ログを用いたシロザケ親魚の遊泳行動解析」(2008 年、海洋と生物, 30(2), 144-149 (牧口祐也・永田鎮也・村田秀樹ほか))
- 26) 「Synchrony in the downstream migration of smolts and upstream migration of adult Atlantic salmon in the subarctic River Utsjoki.」(2007 年、Journal of Fish Biology, 71(6):1735-1750 (P. Orell et. al.))
- 27) 「Diurnal fluctuations in the upstream migration of coho and spring salmon.」
(1943 年、D J. Fish. Res. Bd. Canada, 6:158-163 (Neave, F.))
- 28) 「Preliminary studies on the visible migrations of adult salmon.」(1962 年、J. Fish Res. Bd. Canada, 19(1)137-148 (Ellis, D. V.))
- 29) 「Hatchery approaches in artificial chum salmon enhancement. In Proceedings of the 11th U. S. - Japan Meeting on Aquaculture, Salmon Enhancement. Edited by C. J. Sindermann.」(1985 年、NOAA Tech. Rep. NMFS, 27. pp. 45-53 (Hiroi, O.))
- 30) 「石狩川中流におけるシロザケ *Oncorhynchus keta* の自然産卵」(2009 年、旭川市博物館科学館研究報告第 3 号, 63-73 (有賀 誠・山田直佳・有賀 望・津田裕一・本多健太郎・宮下和士))
- 31) 「平成 26 年度利根大堰におけるサケの遡上状況」(2014 年、独立行政法人水資源機構 利根導水総合事業所ホームページ (平成 26 年 12 月 28 日閲覧))
- 32) 「スジシマドジョウの地方種族における温度適応」(1954 年、日本生態学会誌 Volume 4, No. 2, pp 66-68 (皆森寿美夫))

- 33) 「Summer daytime habitat and population density of the torrent catfish, *Liobagrus reini*, in the Urano River」 (2005 年、Ichthyological Research, Volume 52, Issue 1, pp 50-56 (O Katano, T Nakamura, S Yamamoto, S Abe))
- 34) 「IFIM 入門」 (1999 年、(財)リバーフロント整備センター (中村俊六・テリーワドル))
- 35) 「さけ・ます類の河川遡上生態と魚道」 (2004 年、さけます資源管理センターニュース (13) : 1-7 (真山 紘))
- 36) 「信濃川のサケ漁」 (2014 年、日本財団, 日本財団 WEB 図書館 (平成 26 年 12 月 28 日閲覧))
- 37) 「平成 24 年度国際漁業資源の現況 サケ (シロザケ) 日本系」 (2013 年、水産庁・水産総合研究センター)
- 38) 「サケの放流数と来遊数及び回帰率の推移」 (2014 年、水産総合研究センター北海道区水産研究所, 独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所ホームページ (平成 26 年 12 月 28 日閲覧))
- 39) 「A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids」 (1969 年、Journal of Fish Biology, 1:85-136 (Banks, J. W.))
- 40) 「石狩川におけるシロザケ *Oncorhynchus keta* の遡上行動—テレメトリーシステムの利用—」 (2009 年、応用生態工学, 12(2) : 119-130 (有賀 誠・津田裕一・本多健太郎・光永 靖・三原孝二・宮下和士))
- 41) 「標津川における EMG 発信機を用いたシロザケ親魚の遡上行動解析」 (2008 年、海洋と生物, 30(2), 150-156 (牧口祐也・新居久也・中尾勝哉・上田 宏))
- 42) 「バイオテレメトリーシステムを用いた魚類の遡上行動解析」 ((2012 年) 平成 24 年度国土技術研究会発表資料 (林田寿文・新居久也・春日慶一))
- 43) 「(in press) Influence of a dam on Atlantic salmon (*Salmo salar*) upstream migration in the Couesnon River (Mont Saint Michael Bay) using hydroacoustics. Estuarine」 (2013 年、Coastal and Shelf Science (2013) 1-7 (F. Martignac, et. Al))
- 44) 「シロザケ. 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理」 (1983 年、社団法人日本水産資源保護協会)
- 45) 「西別川における鮭遡上の一考察」 (1937 年、養殖学会誌, 7 (4) 81-84 (三浦兼佑))
- 46) 「サケ・マス親魚の生態調査-II 千歳川におけるサケ親魚の遡上活動の日周変動」 (1978 年、さけ・ますふ化場研究報告, 32 : 9-18 (真山紘))
- 47) 「心拍ロガーを用いたシロザケ親魚の遊泳行動解析」 (2008 年、(海洋と生物, 30(2), 144-149) 牧口祐也・永田鎮也・村田秀樹ほか)
- 48) 「Synchrony in the downstream migration of smolts and upstream migration of adult Atlantic salmon in the subarctic River Utsjoki」 (2007 年、(Journal of Fish Biology, 71(6):1735-1750) P. Orell et. al.)

- 49) 「Diurnal fluctuations in the upstream migration of coho and spring salmon」
(1943 年、(Neave, F. J. Fish. Res. Bd. Canada, 6:158-163)
- 50) Ellis, D. V. (1962) 「Preliminary studies on the visivle migrations of adult salmon.」 J. Fish Res. Bd. Canada, 19(1)137-148.
- 51) 「Hatchery approaches in artificial chum salmon enhancement.」 (1985、In Proceedings of the 11th U. S. - Japan Meeting on Aquaculture, Salmon Enhancement. Edited by C. J. Sindermann. NOAA Tech. Rep. NMFS, 27. pp. 45-53 (Hiroi, O))
- 52) 「アユは河床型をいかに利用するかーアユの密度と体長分布ー」 (1957 年、Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, Vol.23,Nos.7 & 8 (川那部浩哉・水野信彦・西村登))
- 53) 「流量変化に伴う河床型構成およびアユの生息密度の変化とそれらの河川維持流量評価への活用」 (2012 年、応用生態工学, 15(2), 197-206 (高橋勇夫・谷口順彦))
- 54) 「魚類学」 (1965 年 (松原喜代松))

・ 3. 2. 2 付着藻類

- 1) 「ダム下流の河床付着膜の特徴とフラッシュ放流による掃流」 (2007 年、土木技術資料 49-8, pp52-57 (皆川朋子・福島 悟・萱場祐一))
- 2) 「フラッシュ放流等による河川環境改善の効果検証〜一庫ダムにおける物理的・生物学的調査と分析」 (2014 年、平成 26 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集 調査・計画・設計部門 : No.10pp1-5 (藤津 亜弥子))
- 3) 「ダム下流減水区間の付着藻類群集による河川の自濁作用に関する調査研究」 (2008 年、土木学会論文集 G vol, 64 No.3, pp262-275 (白鳥 実・上月康則・島田佳和・橘田竜一・佐藤 塁・村上仁士))
- 4) 「帝釈川ダム下流における流況改善に伴う水生生物の変化」 (2008 年、応用生態工学 11(1), pp63-79 (村田 裕・浅見和弘・三橋さゆり・大本家正))
- 5) 「付着珪藻ーその生態と付着生物群集における役割」 (1998 年、SESSILE ORGANISMS 15(1), pp15-22 (河村智彦))
- 6) 「出水が河床石面付着物に及ぼす影響に関する実験的検討」 (2003 年、河川技術論文集 9, pp475-480 (皆川朋子・福島 悟・萱場祐一・尾澤卓思))
- 7) 「日本の清浄河川における代表的付着藻類Homoeothrix janthina-Achnanthes japonica 群集の形成過程」 (1990 年、藻類 No.38, pp167-177 (田中志穂子・渡辺仁治))
- 8) 「Resistance and resilience of lotic algal communities :importance of disturbance timing and current.」 (1992 年、Ecology 73. pp445-1461 (Peterson, C. G. and Stevenson, J.))
- 9) 「 Disturbance and recovery of an algal assemblage following flooding in an Oklahoma stream. Am. Midl. Nat., 117, pp333-345.」 (1987 年、(Power, M. E. and

Stewart, A. J.))

- 10) 「Spatial and temporal variability of the periphyton biomass in a prealpine river(Necker, Switzerland).」(1991 年、Arch. Hydrobiol., 123, pp219-237. (Uehling er, U.))
- 11) 「水流による藻類の剥離に関する実験的研究」(2001 年、ダム技術 173, pp32-41 (箱石憲昭・塚原千明))
- 12) 「水流によるせん断力と付着藻類の剥離に関する研究」(2000 年、土木学会第 55 回年次学術講演会, II-317 (塚原千明・箱石憲昭))
- 13) 「河床付着性藻類の増殖と剥離」(1983 年、化学工学論文集 9, pp324-329 (川島博之・鈴木基之))

・ 3.2.3 底生動物

- 1) 「底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系評価」(2005 年、日本生態学会誌 55:pp189-197 (竹門康弘))
- 2) 「河川環境の指標生物学 環境 Eco 選書」(2010 年、北隆館 (谷田一三))
- 3) 「大型底生動物を用いた河川環境評価ー日本版平均スコア法の再検討と展開ー」(2012 年、水環境学会誌 第 35 巻 第 4 号 pp118-121 (野崎隆夫))
- 4) 「日本版平均スコア法の紹介と展望」(2012 年、日本陸水学会近畿支部会第 23 回研究発表会要旨集, pp9-10 (谷田一三))
- 5) 「低水路内における攪乱生態水理学ー境界層内の水・土砂・水生昆虫のダイナミックス」(2013 年、基礎水理シンポジウム 2013 (田中規夫))

・ 3.2.4 変動放流

- 1) 「フラッシュ放流等による河川環境改善の効果検証ー一庫ダムにおける物理的・生物学的調査と分析」(2014 年、平成 26 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集 調査・計画・設計部門 : No.10pp1-5 (藤津 亜弥子))
- 2) 「付着藻類の剥離に対するフラッシュ放流の効果の定量的評価」(2011 年、土木学会論文集 B1 (水工学) vol. 67, No.4 I _1381- I _1386 (中土井佑輔・椿 涼太・河原能久・吉武央気))
- 3) 「千曲川中流部での人工付着板による付着藻類群集の発達過程」(1997 年、環境科学年報ー信州大学ー第 19 巻 (中本信忠・桜井恭士・山本満寿夫・阿部信一郎))
- 4) 「水流による藻類の剥離に関する実験的研究」(2001 年、ダム技術, 173 : 32-41 (箱石・塚原))
- 5) 「水流によるせん断力と付着藻類の剥離に関する研究」(2000 年、土木学会第 55 回年次学術講演会 : II-317 (箱石・塚原))
- 6) 「Resistance and resilience of lotic algal communities : importance of disturbance

timing and current.」(1992 年、Ecology 73.pp445-1461 (Peterson, C. G. and Stevenson, J.))

- 7) 「水生昆虫データによる河川生物生息環境の指標化について」(2005 年、河川技術論文集 11, pp559-564 (玉井昌宏・香本祥子))
- 8) 「帝釈川ダム下流における流況改善に伴う水生生物の変化」(2008 年、応用生態工学 11(1), pp63-79 (村田 裕・浅見和弘・三橋さゆり・大本家正))