

## 釜房ダム貯水池水質保全における気候変動の適応推進事業

いであ株式会社

### ○事業の概要

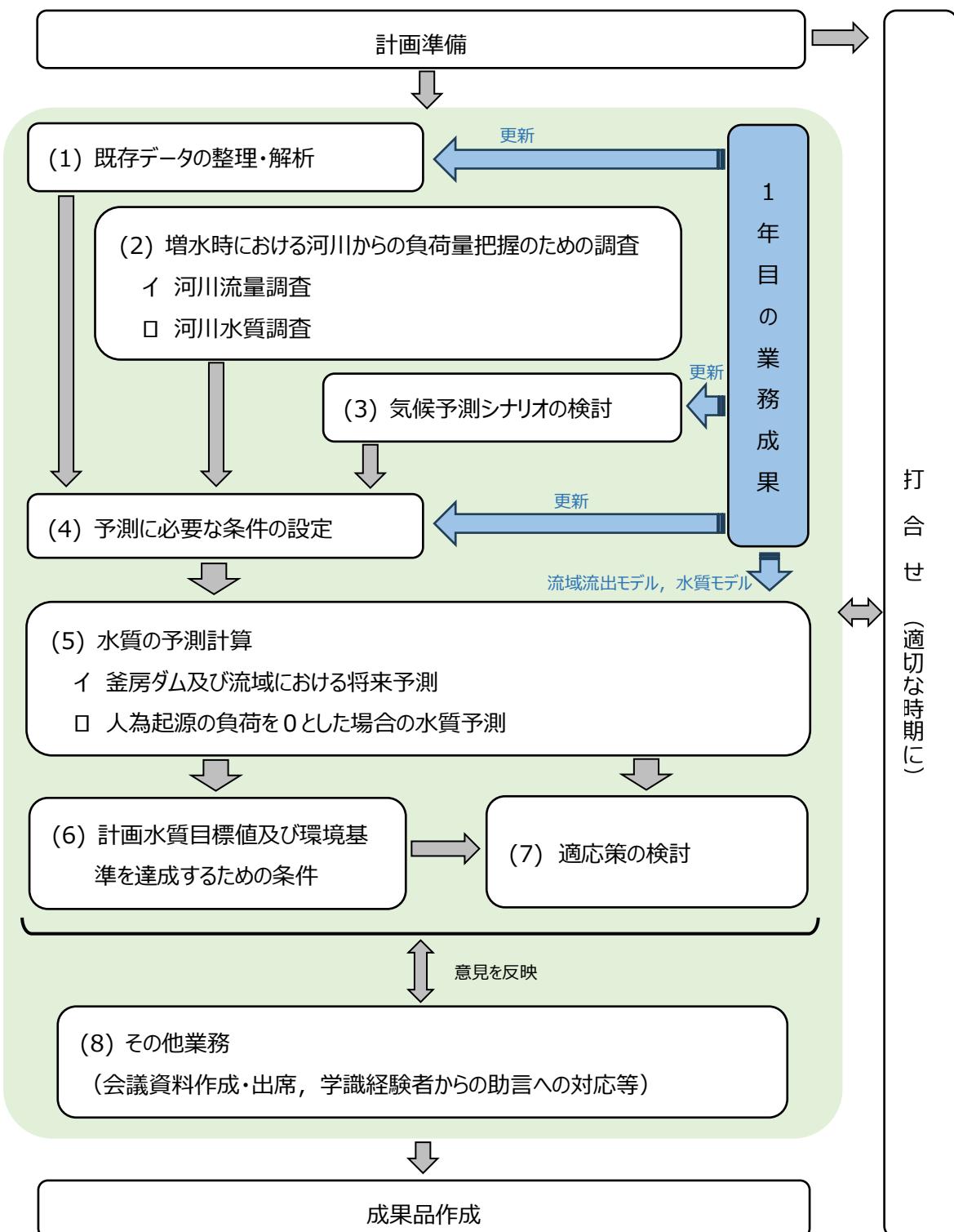


図 1 業務全体の流れ (R6 年度)

表 1 業務內容

R5 年度（昨年度：1 年目）	R6 年度（本年度：2 年目）
(1) 既存データの整理・解析 ・R4 年度までのデータを整理・解析	(1) 既存データの整理・解析 ・R5 年度のデータを整理・解析
(2) 気候予測シナリオの検討 ・データセットの選定、バイアス補正、 気候変動シナリオの設定	(2) 増水時調査 ・大雨降雨時における河川流量・水質調査
(3) 水質シミュレーションモデルの設定 ・水質シミュレーションモデルの更新 ・流域流出モデルの構築	(3) 気象予測シナリオの検討 ・最新のデータに基づく気候変動シナリオの更新
(4) 予測に必要な条件の設定 ・計算条件の設定	(4) 予測に必要な条件の設定 ・最新のデータに基づく計算条件の更新
(5) その他 ・環境審議会水質専門委員会議（2回）	(5) 水質の予測計算 ・釜房ダム及び流域における将来予測計算
	(6) 計画水質目標値及び環境基準を達成するための条件
	(7) 適応策の検討
	(8) その他 ・環境審議会水質専門委員会議（2回）

表2 業務スケジュール（R5年度～R6年度）

# 水質シミュレーションモデルの構築について

## 1. 水質シミュレーションモデルの設定

### 1.1 貯水池内の内部生産メカニズムの解析に係る水質シミュレーションモデル

「第7期釜房ダム貯水池湖沼水質保全計画策定業務」で作成した水質シミュレーションモデル（以下「第7期モデル」という。）を、気候変動適応策の検討用に更新した。

第7期モデルは、流れ・水位・水温の計算を行う「流動モデル」（3次元密度流モデル）と、窒素・リンなどの栄養塩とプランクトンといった生物・化学的な項目を計算する「生態系モデル」（水質－底質結合生態系モデル）の2つのモデルから構成される。生態系モデルでは、流動モデルで得られた結果を計算条件として使用することとした。

釜房ダム貯水池の計算格子（水平格子間隔 100m）を図1-1に、生態系モデルの物質循環経路図を図1-2にそれぞれ示す。

なお、本年度（令和6年度）実施予定の「水質予測シミュレーション」及び「気候変動適応策の検討」に向けて、昨年度は気候変動による水温上昇に対する温度関数等の見直し、およびモデルの条件設定の検討を行った。

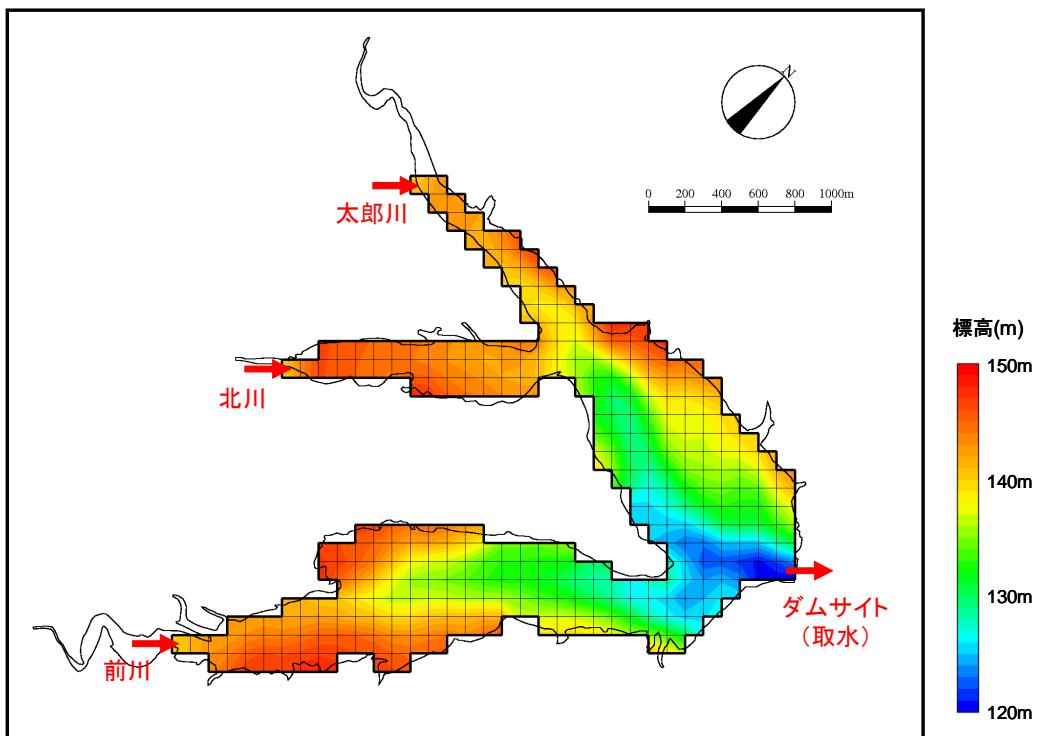
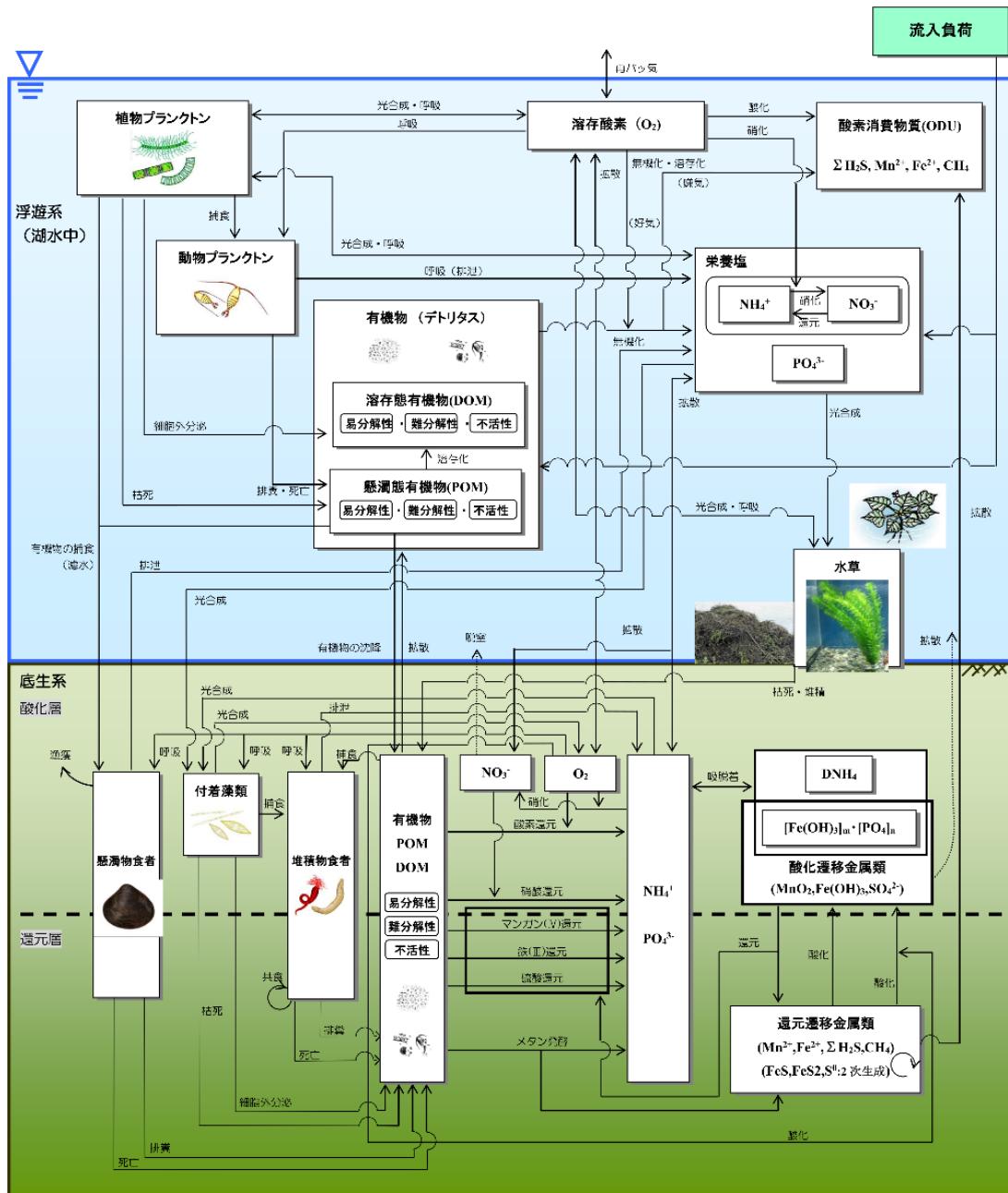


図1-1 釜房ダムの計算格子・標高分布図



出典：平成 28 年度環境省請負業務 湖沼水質保全対策調査検討業務報告書

図 1-2 生態系モデル物質循環経路図

### 1.1.1 気候変動シナリオの適用によるモデル式の検討について

釜房ダム流域において気候変動シナリオから推定される気象条件を適用した場合に想定される主な環境変化は次のとおりである。

- ・気温上昇による流入水温の上昇
- ・釜房ダム貯水池内の水温上昇
- ・釜房ダム貯水池内の上下層水温差の拡大、成層の長期化
- ・短期的降水量の増加による森林からの負荷量増加
- ・短期的降水量の増加による湖水交換速度の増加

上記の変化によって釜房ダム貯水池内で生じると考えられる水環境の変化を以下に示す。

- ・湖水温上昇に伴う植物プランクトン活性の変化
- ・成層の長期化に伴う底層水貧酸素化
- ・森林起源の流入負荷量増加に伴う水質濃度の上昇

第7期湖沼計画策定において構築した釜房ダム貯水池生態系モデルでは、珪藻類と藍藻類を想定した2種類の植物プランクトンを考慮しており、これらの基礎生産に対する温度関数は図1-3に示すように設定している。

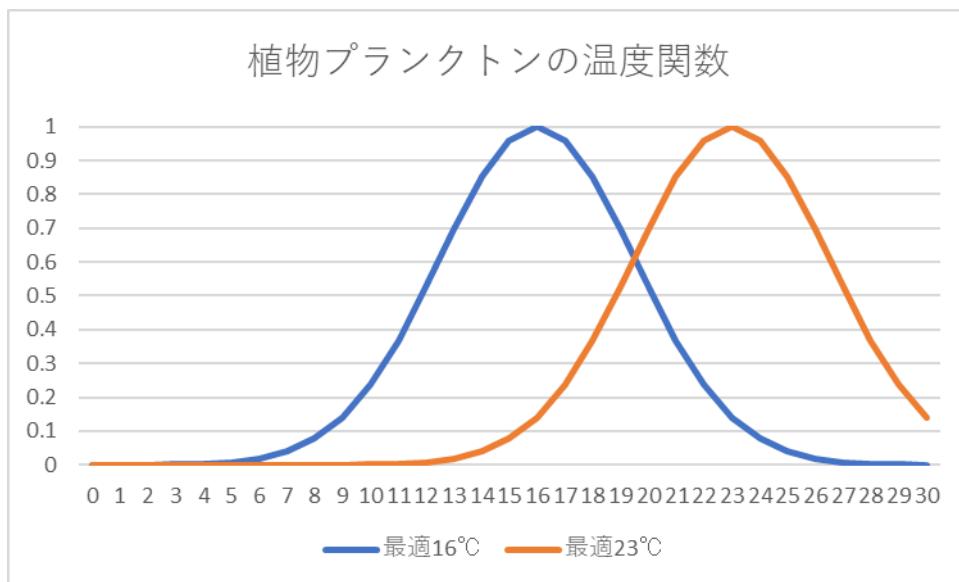


図1-3 植物プランクトン2種の温度関数

第7期湖沼計画において現況再現計算を行った期間では、6月から10月の間は表層水温が20°C程度であり、8月頃に25°C前後まで上昇する傾向を示していた。このため夏季表層では藍藻類を想定した最適水温23°Cのプランクトンが優占しやすく、夏季中層と夏季以外の期間は珪藻類を想定した最適水温16°Cのプランクトンが繁茂しやすい結果となっていた。

気候変動シナリオの適用により、表層水温が20°Cを超える状態が長期化する場合、藍藻類を想定したプランクトンが増加する可能性が考えられる一方、冬季の水温上昇は珪藻類を想

定したプランクトンが増加する可能性も考えられる。

植物プランクトンの増加については、水質濃度として COD 濃度の上昇を生じるだけではなく、藍藻類の増加は 2-MIB の増加にも関わってくると考えられる。

成層の長期化に伴う底層水貧酸素化については、第 7 期湖沼計画策定時に構築した生態系モデルが図 1-2 に示すように水質と底質のカップリングモデルであることから、水中の水温や水質の変化により自律的に底泥からの栄養塩類の溶出と酸素消費速度を計算するモデルとなっているため、とくに改変は必要ないと考える。

以上のことから、釜房ダム流域において気候変動シナリオから推定される気象条件を適用した場合においても、第 7 期湖沼計画策定時に構築した生態系モデルを適用することができると考えられる。

### 1.1.2 モデルの条件設定

釜房ダム流域において気候変動シナリオから推定される気象条件を適用してその影響予測を行う計算の考え方は次のとおりである。

1. 気候変動シナリオに基づいて気象条件を作成
2. 1 の気象条件を入力条件として流域流出モデルを計算し、流域からの流入水量を計算
3. 1 の気象条件と 2 の流入水量を入力条件として流動計算を実施
4. 1 の気象条件と 2 の流入水量に基づいた流入負荷量と 3 の流動計算結果を入力条件として生態系モデル計算を実施

流動計算および生態系モデル計算については、第 7 期湖沼計画策定時に現況再現計算を実施した期間内の豊水年、渇水年、平水年を選定し、新しい入力条件を用いて再現計算を実施し、再度現況再現性の確認を行う。流動計算を実施するにあたり必要となる計算条件は、第 7 期湖沼計画策定時に収集・設定したものに加え、本業務において推定を行った気象条件と流入水量条件となる。生態系モデル計算を実施するにあたり必要となる条件についても流動計算と同様である。流入負荷量については、自然汚濁負荷調査業務の結果と今年度宮城県が実施した河川水質調査結果を参照し、再設定を行うものとする。

## 1.2 流出解析モデル

### 1.2.1 モデルの概要

気候変動モデルを用いた釜房ダム流域の将来降雨、気温、融雪および流域の土地利用状況等の変化による蒸発散の変化を反映した釜房ダム流入量を算定するために、流域の土壤水分量及び地下水流动を考慮した流出解析モデル（飽和・不飽和浸透解析モデル）を構築している。

飽和・不飽和流に対する連続式は、

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

となる。ここで、 $\theta$ ：体積含水率、 $u, v, w$ ： $x, y, z$ それぞれの方向の流速である。また、土中の水がダルシー則に従って流れる場合、流速  $u, v, w$  は以下の様に表記できる。

$$u = -k_x(\theta) \frac{\partial h}{\partial x}, \quad v = -k_y(\theta) \frac{\partial h}{\partial y}, \quad w = -k_z(\theta) \frac{\partial h}{\partial z}$$

ここで、 $k_x(\theta), k_y(\theta), k_z(\theta)$  は  $x, y, z$  それぞれの方向の不飽和透水係数であり、体積含水率  $\theta$  の関数である。ピエゾ計水頭  $h$  は位置水頭  $z$  と圧力水頭  $\psi$  の和であるから、上式は

$$u = -k_x(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad v = -k_y(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad w = -k_z(\theta) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right)$$

となり、これを連続式に代入すると、Richards 式と呼ばれる方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k_x(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k_y(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_z(\theta) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\}$$

が得られる。また、比水分容量  $C(\psi) = d\theta/d\psi$ 、水分拡散係数  $D(\theta) = k(\theta) \cdot d\psi/d\theta$  を用いれば、上式は

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k_x(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k_y(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_z(\theta) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\}$$

と変形できる。

不飽和土壤において、体積含水率  $\theta$  と圧力水頭  $\psi$ （またはサクション  $H$ ）との関係を水分保持曲線または土壤水分特性曲線と呼ぶ。有名なモデル式として、Brooks and Corey モデル（BC モデル、1964）、van Genuchten モデル（VG モデル、1980）が知られている。

Brooks and Corey モデル

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \left( \frac{\psi_e}{\psi} \right)^\lambda & (\psi < \psi_e) \\ 1 & (\psi \geq \psi_e) \end{cases}$$

van Genuchten モデル

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \{1 + (-\alpha\psi)^n\}^{-m}$$

ここで、 $\psi_e$ ：空気侵入圧、 $\lambda$ 、 $\alpha$ 、 $n$ 、 $m$  ( $= 1 - 1/n$ )は水分保持曲線の形状を与えるパラメータである。また、Mualem (1976) によれば、水分保持曲線から次式によって不飽和透水係数を推定することができる。

$$k(S_e) = k_s S_e^\ell \left\{ \frac{\int_0^{S_e} \frac{1}{\psi(S_e)} dS_e}{\int_0^1 \frac{1}{\psi(S_e)} dS_e} \right\}^2$$

ここで、 $k(S_e)$ ：不飽和透水係数、 $k_s$ ：飽和透水係数、 $\ell$ ：間隙結合係数である。BC モデル、VG モデルそれぞれの不飽和透水係数は以下の様になる。

Brooks and Corey モデル

$$k(S_e) = k_s S_e^{\ell+2+2/\lambda}$$

van Genuchten モデル

$$k(S_e) = k_s S_e^\ell \left\{ 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right\}^2$$

なお、VG モデルにおいて、飽和近傍の不飽和透水係数  $k$  の急変は、物理的には妥当ではなく、数値計算を行う上でも計算の不安定を招きやすく大きな問題である。この問題を回避するため、例えば Vogel and Cislerova (1988) は BC モデルのような空気侵入圧  $\psi_e$  をもつ修正 VG モデルを提案した。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \frac{\theta_m - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \{1 + (-\alpha\psi)^n\}^{-m} & (\psi < \psi_e) \\ 1 & (\psi \geq \psi_e) \end{cases}$$

ここで、 $\psi_s$ ：仮想的な空気侵入圧、 $\theta_m$ ：仮想的な飽和体積含水率であり、上段の式において  $\psi = \psi_e$  で  $\theta = \theta_s$  となる。BC モデル、修正 VG モデルそれぞれによる、 $\psi - \theta - k$  の関係を以下に示す。なお、パラメータは坂井ら<sup>1</sup>による以下の値を用いた。水分保持曲線 ( $\psi - \theta$  関係) については、BC モデル、VG モデルで大きな差は無いが、 $\theta - k$  関係については、モデルによって不飽和透水係数  $k$  に 1~2 オーダーの差異が生じる。

飽和・不飽和浸透解析モデルによる、山地斜面における土壤水分の流動計算結果例を図 1-5 に示す。

---

<sup>1</sup> 坂井勝、取手伸夫：水分保持曲線と不飽和透水係数の水分移動特性モデル、土壤の物理性、第 111 号、pp.61-73、2009.

表 1-1 BC モデル, VG モデルのパラメータの例

項目	ローム質砂	シルト質土	シルト質粘土
残留体積含水率 $\theta_r$	0.057	0.034	0.07
飽和体積含水率 $\theta_s$	0.41	0.46	0.36
飽和透水係数 $k_s$ (cm/d)	350.2	6	0.48
BC モデル	空気侵入圧 $\psi_e$ (cm)	-5.2	-38.7
	$\lambda$	0.95	0.32
VG モデル	$\alpha$ (1/cm)	0.124	0.016
	$n$	2.28	1.37
間隙結合係数 $\ell$	0.5	0.5	0.5

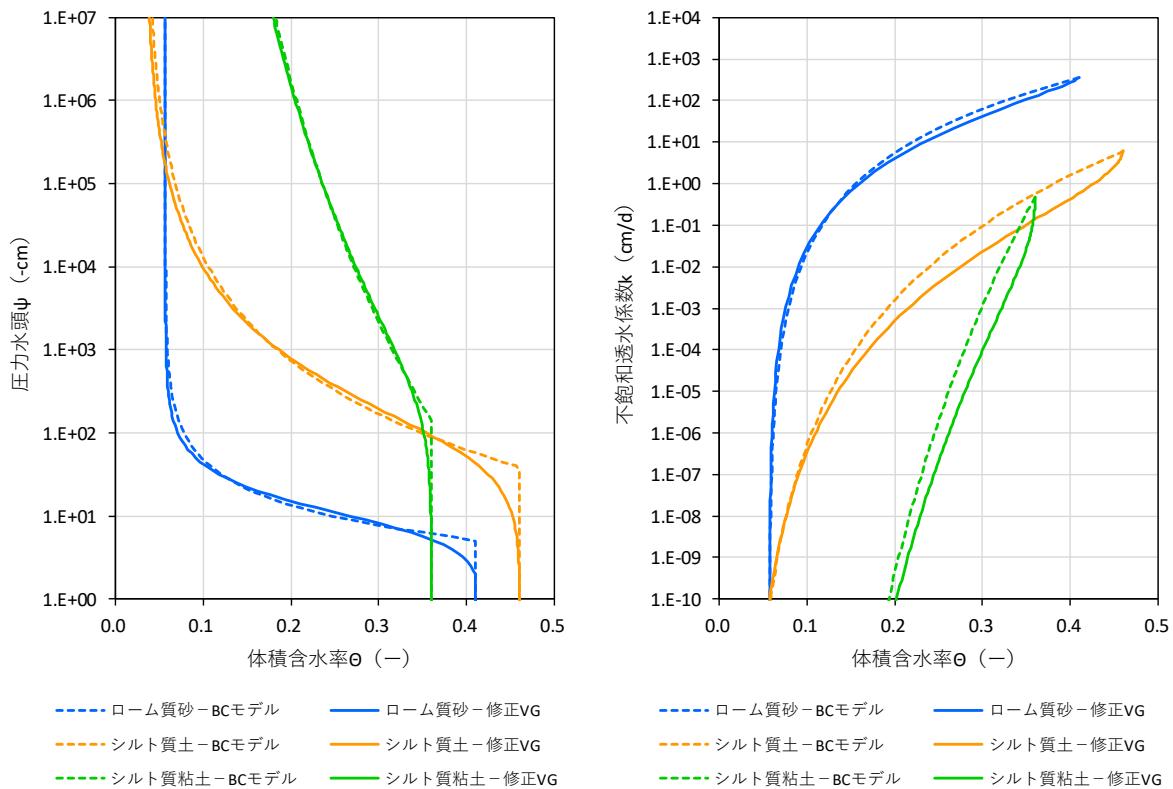


図 1-4 BC モデル, 修正 VG モデルによる  $\psi$ - $\theta$ - $k$  関係

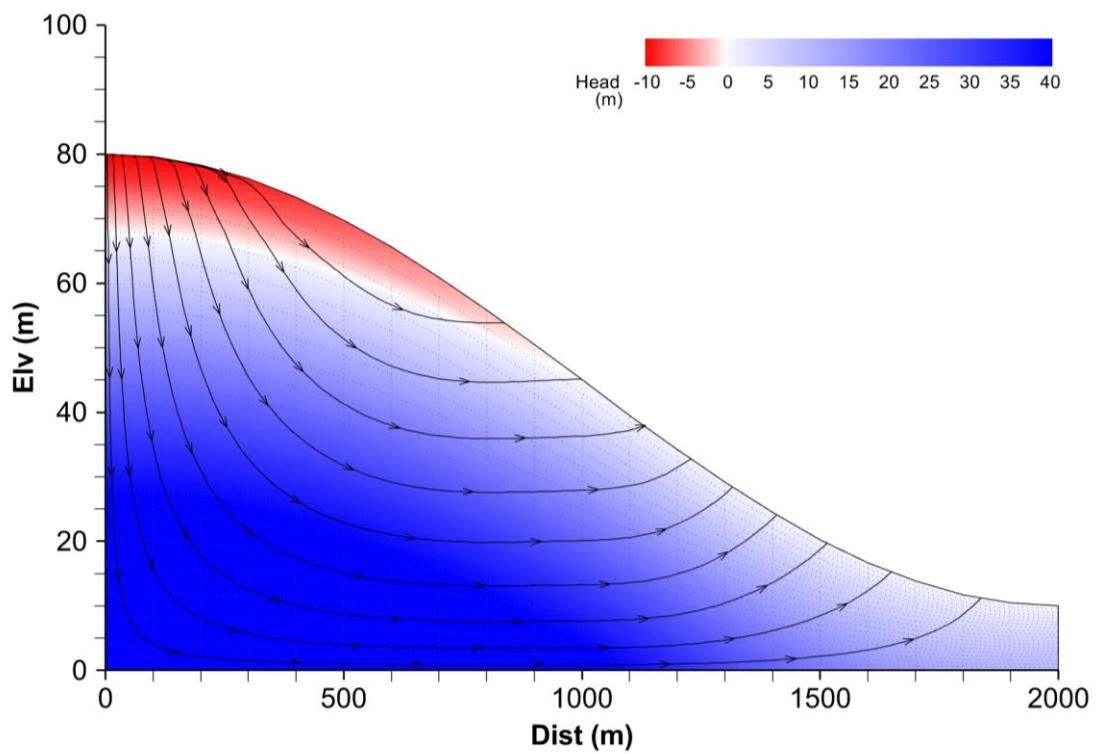


図 1-5 飽和・不飽和浸透解析モデルによる計算結果イメージ

蒸発散量  $E_t$  は、Penman-Monteith の式<sup>2</sup>による可能蒸発散量  $E_P$  に基づき計算する。

$$E_t = PET \cdot \left\{ 1 - \frac{2}{1 + \exp(-k_{PET} \cdot SX)} \right\} \cdot E_P, \quad SX = 1 - \frac{1}{1 - \theta/\theta_s}$$

$$E_P = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho C_p \{e_s(T_a) - e_a\}/r_a}{\lambda(\Delta + r)} \times 3.6$$

ここで、 $E_t$ ：蒸発散量 (mm/h),  $E_P$ ：可能蒸発散量 (mm/h),  $PET$ ：蒸発散比の最大値,  $k_{PET}$ ：係数,  $SX$ ：土壤水分率指標,  $\theta$ ：不飽和帶モデルにおける土壤水分量,  $\theta_s$ ：不飽和帶モデルにおける飽和土壤水分量,  $\lambda$ ：水の蒸発潜熱 (J/g),  $T_a$ ：気温 (°C),  $\Delta$ ：飽和蒸気圧曲線の勾配 (hPa/K),  $R_n$ ：正味放射量 (J/m<sup>2</sup>/s),  $G$ ：地中鉛直下方への熱流量 ( $\approx 0$  J/m<sup>2</sup>/s),  $\rho$ ：空気の密度 ( $\approx 1.176 \times 10^3$  g/m<sup>3</sup>),  $C_p$ ：空気の定圧比熱 ( $\approx 1.007$  J/g/K),  $e_s(T_a)$ ：気温  $T_a$  °Cにおける飽和水蒸気圧 (hPa),  $e_a$ ：水蒸気圧 (hPa),  $r_a$ ：空気力学的抵抗 (s/m),  $r$ ：乾湿計定数 ( $\approx 0.656$  hPa/K), 3.6：単位換算係数 (g/m<sup>2</sup>/s → mm/h, ただし水の密度を 1000kg/m<sup>3</sup>とした) である。水の蒸発潜熱  $\lambda$ , 正味放射量  $R_n$ , 水蒸気圧  $e_a$ ・飽和水蒸気圧  $e_s$ , 空気力学的抵抗  $r_a$  は次式で算定する。

$$\lambda = 2.5 \times 10^3 (1 - 1.0 \times 10^{-3} T_a)$$

$$R_n = (1 - \alpha) Q_{s0} - S \sigma \theta^4 (a - b \sqrt{e_a}) (1 - cn^2)$$

$$e_a = e_s(T_a) \frac{H_w}{100}, \quad e_s(T_a) = 6.1078 \times 10^{7.5T_a/(237.3+T_a)}$$

$$r_a = \frac{1}{W_{10}} \left\{ \frac{1}{\kappa} \ln \left( \frac{10}{z_0} \right) \right\}^2$$

ここで、 $\alpha$ ：地表面のアルベド,  $Q_{s0}$ ：全天日射量 (J/m<sup>2</sup>/s),  $S$ ：水の黒体度 (長波放射率,  $S=0.97$ ),  $\sigma$ ：シュテファン-ボルツマン定数 ( $\sigma = 5.6704 \times 10^{-8}$  (J/m<sup>2</sup>/K<sup>4</sup>/s))<sup>3</sup>,  $\theta$ ：気温の絶対温度 ( $\theta = 273.15 + T_a$  (K)),  $H_w$ ：相対湿度 (%),  $n$ ：雲量 (0~1),  $a \cdot b \cdot c$ ：モデル定数 ( $a=0.39$ ,  $b=0.058$ ,  $c=0.65$ ),  $W_{10}$ ：地上 10m における風速 (m/s),  $\kappa$ ：カルマン定数 ( $\approx 0.4$ ),  $z_0$ ：粗度長さ (m) である。

また、地上気温  $T_a$  は気象観測所の観測気温  $T_0$  (°C), 気象観測所の標高  $H_0$  (m) とそのメッシュの標高  $H$  (m) から、次式で求められる。

$$T_a = T_0 + \alpha \frac{H - H_0}{100}$$

ここで、 $\alpha$ ：気温遞減率 (°C/100m) であり、一般的には  $\alpha = -0.6$  である。

降雪・融雪については、予備計算によりいくつかの閾値、パラメータを調整した。まず、降雪・融雪の判定においては、上記の地上気温が次式に基づく判別気温<sup>4</sup>  $T_c$  以上の場合に降雨,  $T_c$  未満の場合に降雪とし、降雪の場合は降水量を積雪として累積していくこととした。

<sup>2</sup> 服部重昭：蒸発散量推定式の誘導過程と林分への適用における問題点、林業試験場研究報告 第 332 号, pp.139-165, 1985.

<sup>3</sup> 国立天文台 編：理科年表、丸善株式会社。

<sup>4</sup> 近藤純正：水環境の気象学－地表面の水収支・熱収支－、朝倉書店, p.49, 1994.

$$T_c = 7.7 - 6.6H_w$$

ただし、降雪は地上で観測される降水量に比べて風の影響を受けやすく、風速の増加とともに降水量計に捕捉される降雪量が減少する。そこで、西村ら<sup>5</sup>を参考に、降雪量は降水量と風速の観測結果から次式で与えることとした。

$$S = R(1 + 0.221W_{10})$$

ここで、 $S$ ：降雪量である (mm/h)。また、地上気温が 0°C 以上の場合に融雪が発生するものとし、融雪量は次式で算定した。

$$M_s = \left( m \cdot + \frac{1}{80} R \right) \cdot (T_a - T_c)$$

ここで、 $M_s$ ：融雪量 (mm/h°C)， $R$ ：降水量 (mm/h)， $m$ ：気温融雪率 (mm/h°C)， $T_c$ ：融雪が発生する気温 (°C) であり、 $m = 0.104 \text{ mm/h°C}$  ( $2.5 \text{ mm/d°C}$ ) とした。

河川等における 1 次元不定流モデルの基礎方程式 (dynamic wave) を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{運動方程式} &: \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) = -gA \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{n^2 g}{R^{4/3}} \frac{Q \cdot |Q|}{A} \\ \text{連続式} &: \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \end{aligned}$$

ここで、 $Q$ ：流量 (m<sup>3</sup>/s)， $A$ ：断面積 (m<sup>2</sup>)， $g$ ：重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)， $H$ ：水位 (m)， $R$ ：径深 (m)， $n$ ：マニングの粗度係数 (s/m<sup>1/3</sup>)， $q$ ：中間流入量 (m<sup>2</sup>/s) である。

本検討においては、上に示した運動方程式から移流項を省略することで得られる局所慣性方程式に基づき河道部の流量を算出した。運動方程式は次式となる。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -gA \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{n^2 g}{R^{4/3}} \frac{Q \cdot |Q|}{A}$$

流量  $Q$  について、現在ステップの計算値を  $Q$  (添え字なし)，次ステップの計算値を  $Q^{n+1}$  と置くと，

$$\frac{Q^{n+1} - Q}{\Delta t} = -gA \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{n^2 g}{R^{4/3}} \frac{Q^{n+1} \cdot |Q|}{A} \Rightarrow Q^{n+1} = \frac{Q - gA\Delta t \frac{\partial H}{\partial x}}{1 + \frac{n^2 g \Delta t}{R^{4/3}} \frac{|Q|}{A}}$$

ただし、 $\Delta t$ ：タイムステップ (s) である。

<sup>5</sup> 西村敦史、原田裕介、菅原邦泰、大宮哲：降水量・気温・風速から積雪深を推定する手法に関する研究、土木研究所成果報告書、令和 3 年度、2022.

### 1.2.2 釜房ダム流域における適用

釜房ダム流域の地形図と流出解析モデルのメッシュ配置を図 1-6 に、地質図を図 1-7 に、土地利用図を図 1-8 に示す。また、地形データに基づき作成した流出解析モデルの 3 次元メッシュ配置を図 1-9 に示す。

釜房ダム流域の南西端は蔵王連峰（名号峰：1491m）、西端は雁戸山（1485m）があり、急勾配の斜面となっている。流域の地質は、水源地となる山形県境側に花崗閃緑岩・安山岩が分布し、その東側には流紋岩の貫入を伴う酸性火碎岩、ダム近傍では段丘堆積物が分布している。流域の土地利用としては、水面を除く流域の 8 割以上は森林に覆われており、それ以外は田が約 6%，その他の農用地が約 4%，建物用地が約 2%，荒地、交通用地、その他の用地とゴルフ場を合わせて約 4% となっている。

流出解析モデルの計算結果の一例として、平水年度、豊水年度、渴水年度それぞれの流入量の時系列を図 1-10 に示す。釜房ダム管理日報に基づくダム流入量に比べ、出水ピークで過小評価、渴水年のかんがい期で過大評価となる傾向があるものの、年間の流入量変化は良好に再現されている。

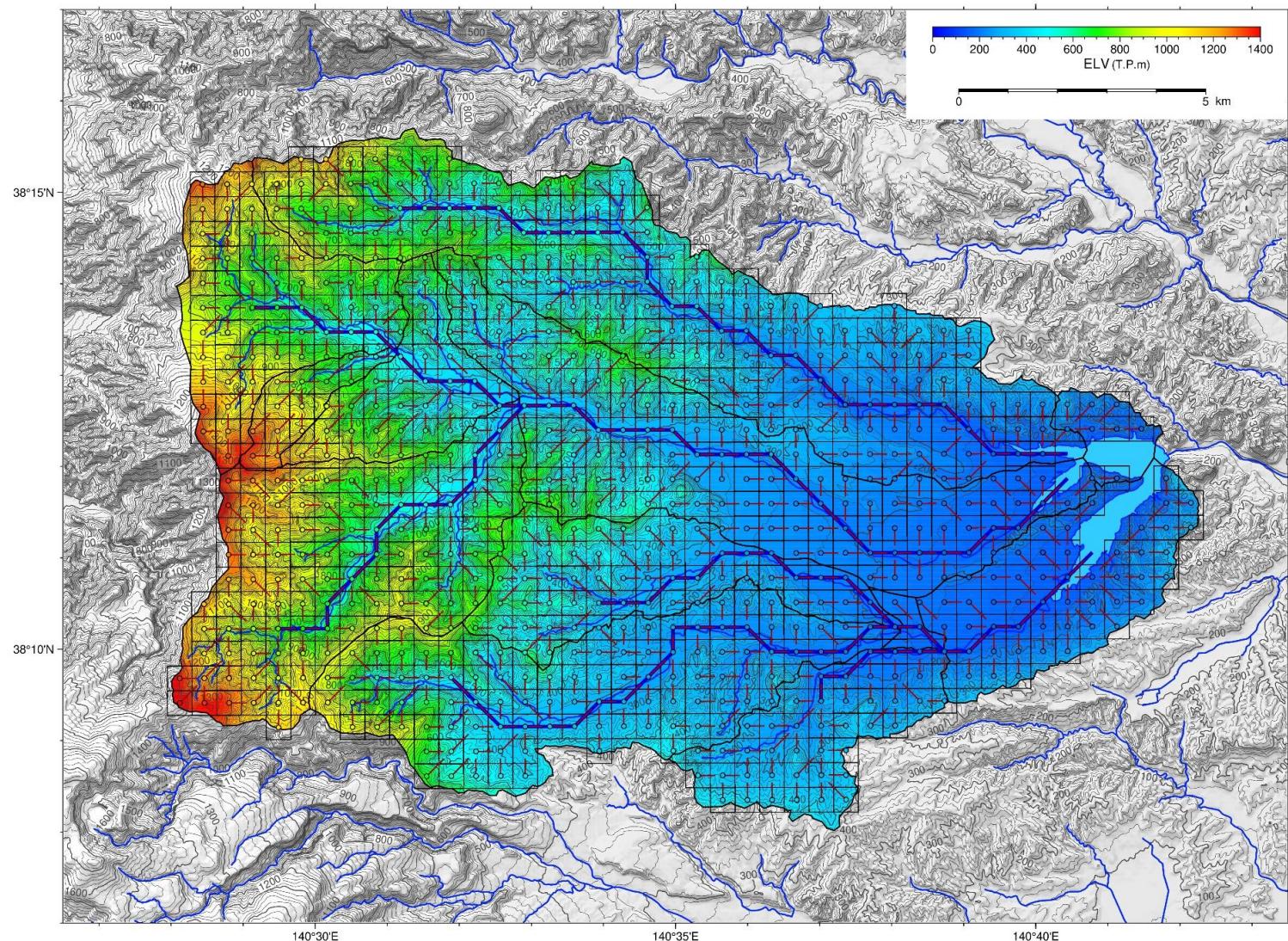
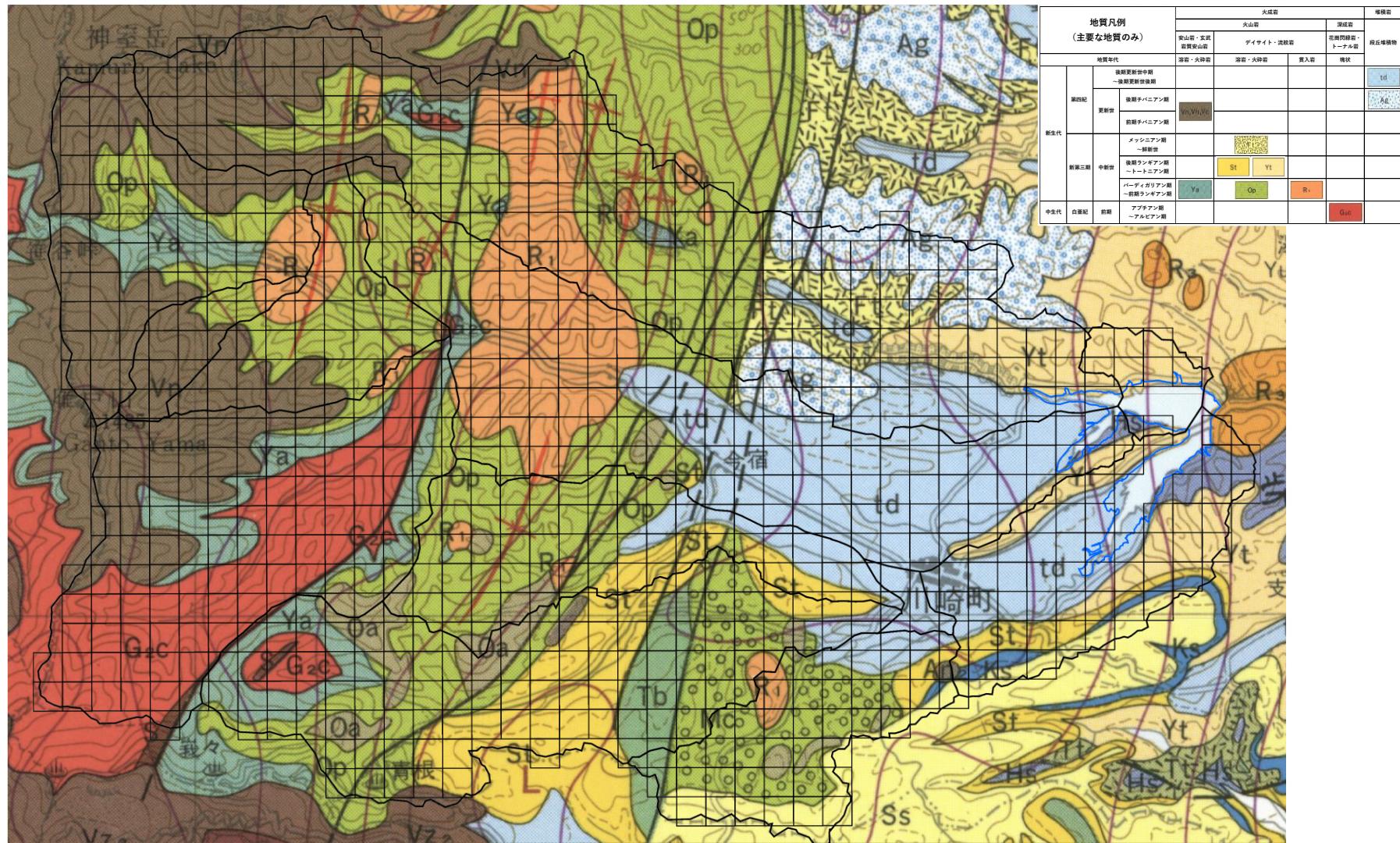


図 1-6 釜房ダム流域の標高及びメッシュ配置・落水線

出典) 国土交通省 国土数値情報,  
国土地理院 基盤地図情報 より作成



出典) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質図 Navi

図 1-7 釜房ダム流域の地質図

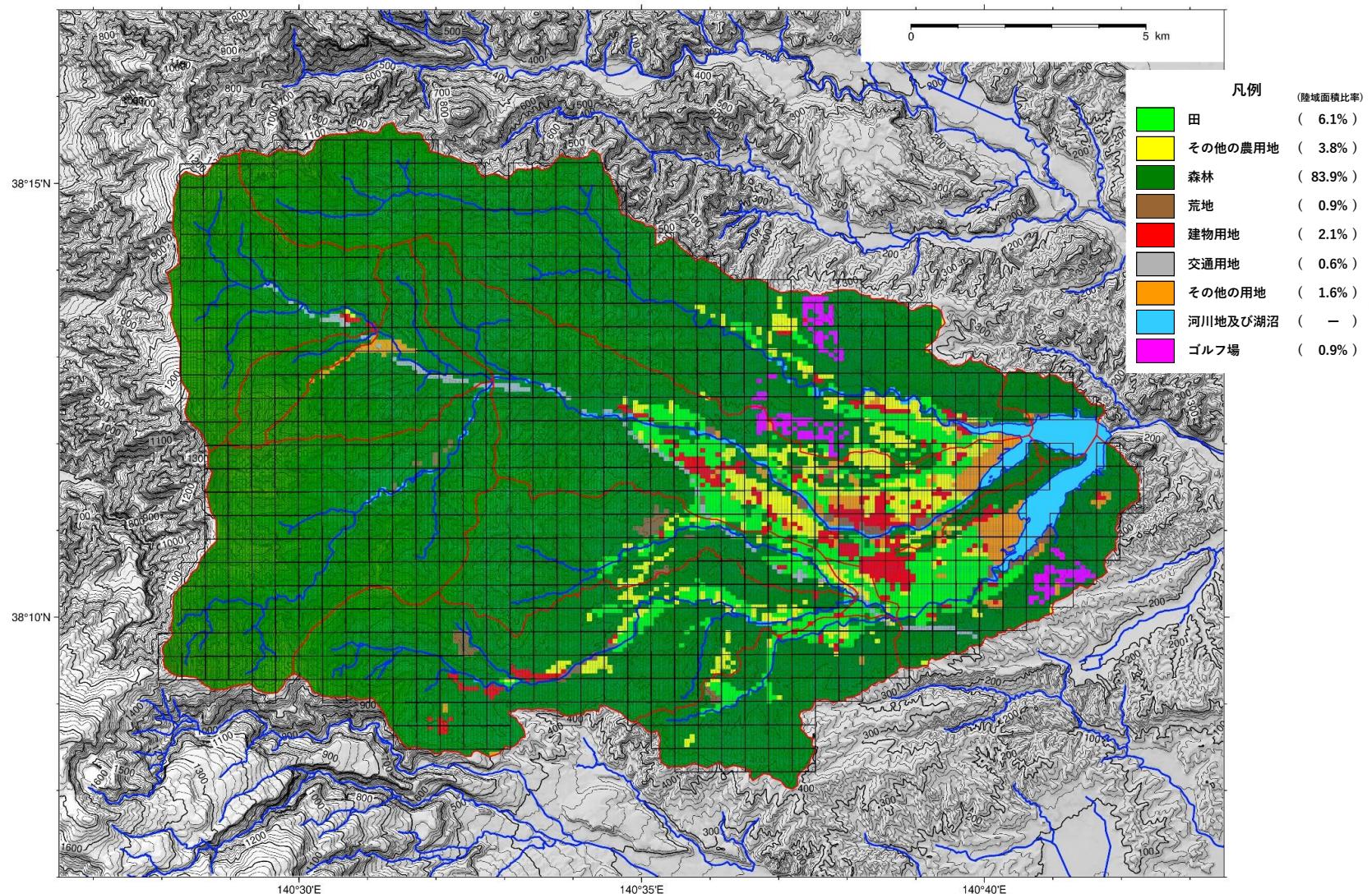


図 1-8 釜房ダム流域の土地利用(平成 28 年) 出典) 国土交通省 國土數値情報、  
國土地理院 基盤地図情報 より作成

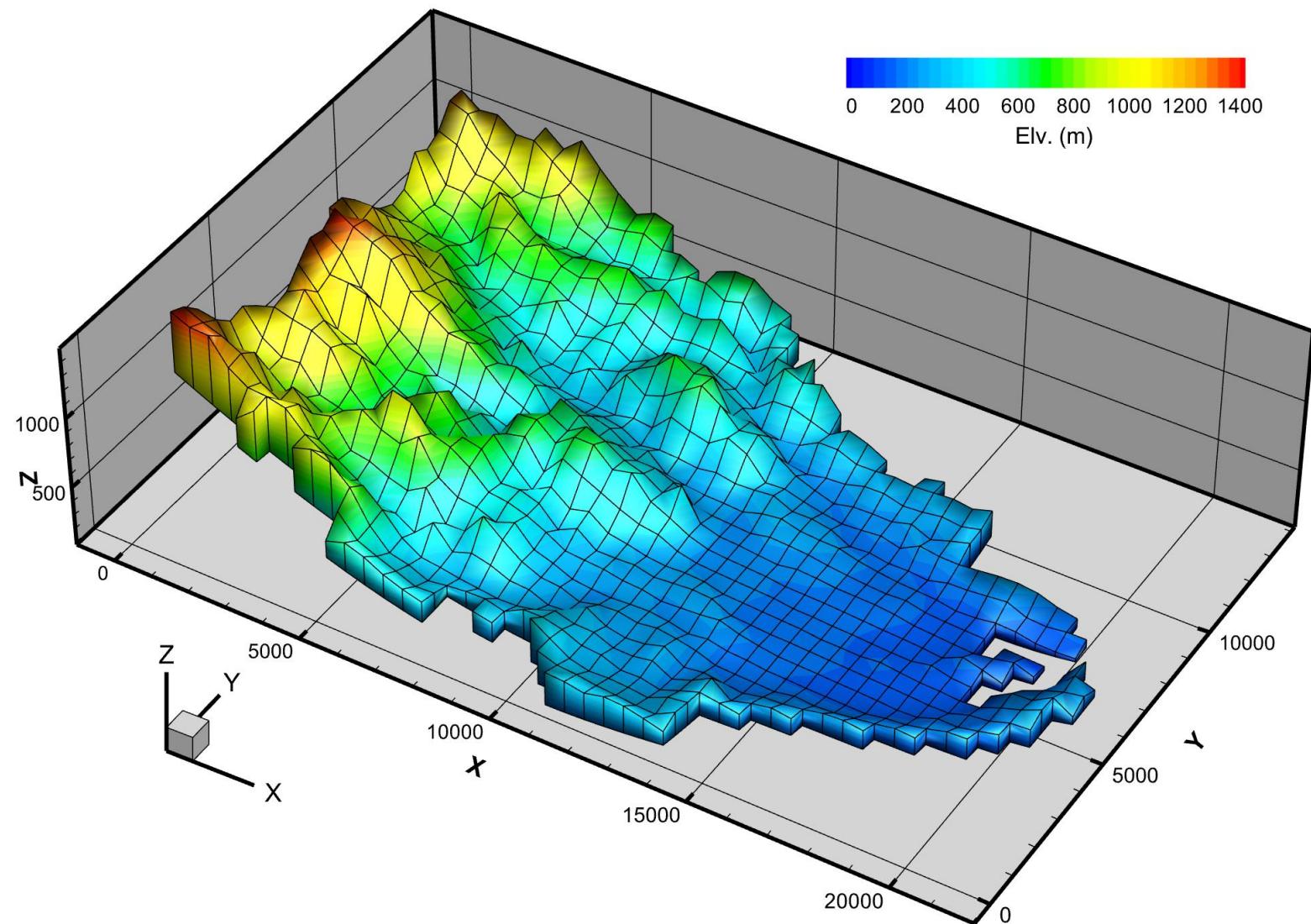
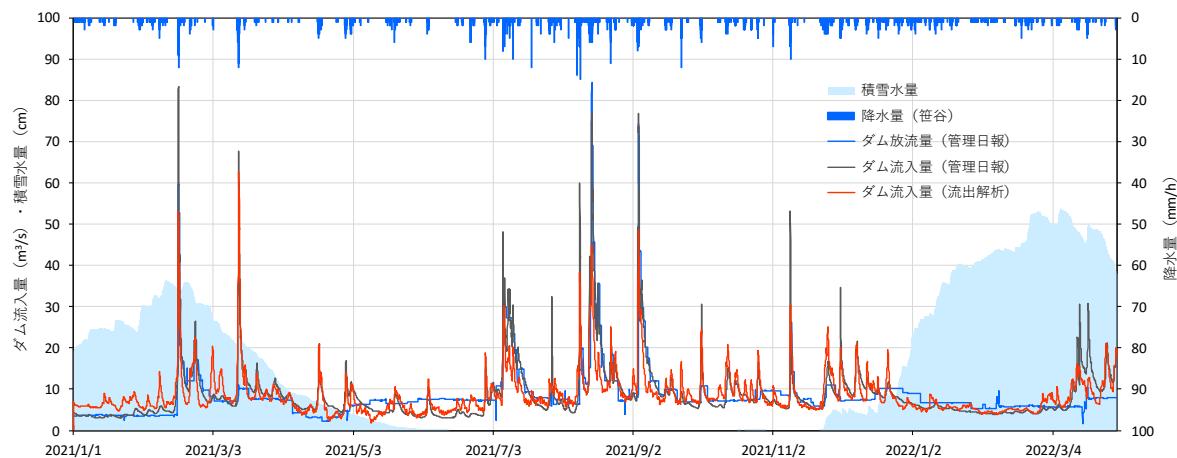


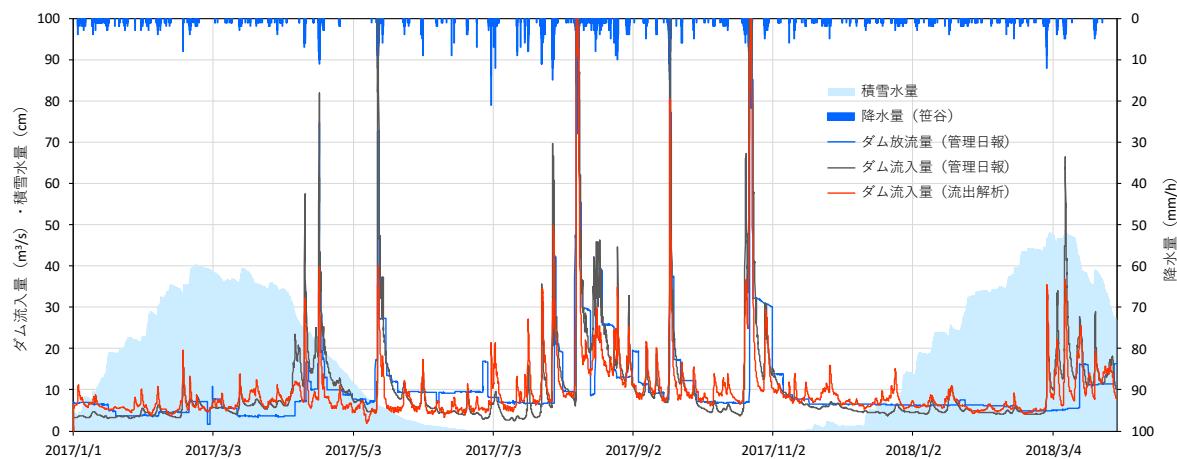
図 1-9 流出解析モデルの 3 次元メッシュ配置

※標高は水平距離の 4 倍に強調して表示

・平水年度(令和 3 年度)



・豊水年度(平成 29 年度)



・渴水年度(平成 30 年度)

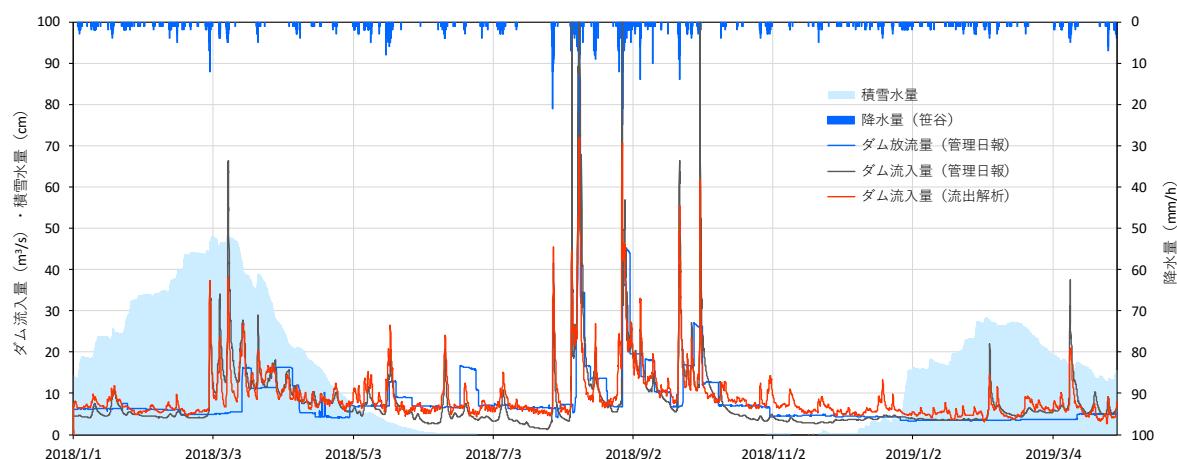


図 1-10 流出解析モデルの計算結果例

## 1.3 水質シミュレーションモデルの構築

### 1.3.1 モデルの概要

本検討で使用する水質シミュレーションモデルは、「第7期釜房ダム貯水池湖沼水質保全計画策定業務」で作成した水質シミュレーションモデル（以下「第7期モデル」という。）を、気候変動適応策の検討用に更新したものである。

水質シミュレーションモデルの基本構造は、釜房ダム貯水池を水平方向と鉛直方向に多層の格子で分割する3次元モデル（水平2次元多層レベルモデル）とした。

また、水質シミュレーションモデルは、流れ・水位・水温の計算を行う「流動モデル」と、窒素・リンなどの栄養塩とプランクトンといった生物・化学的な項目を計算する「生態系モデル」の2つのモデルから構成されている。生態系モデルでは、流動モデルで得られた結果を計算条件として使用した。

#### (1) 流動モデル

流動予測モデルとして3次元密度流モデル（水平2次元多層レベルモデル）を用いた。流動モデルは流体力学の基礎方程式を差分化することにより解く数値モデルで、基本式は、三次元の運動方程式、連続の式および水温・塩分の保存式で構成される。本モデルは、密度変化、河川水の流入、風による吹送流、水面での熱収支を考慮している。

流動モデルの構造図は図1-11に示すとおりである。

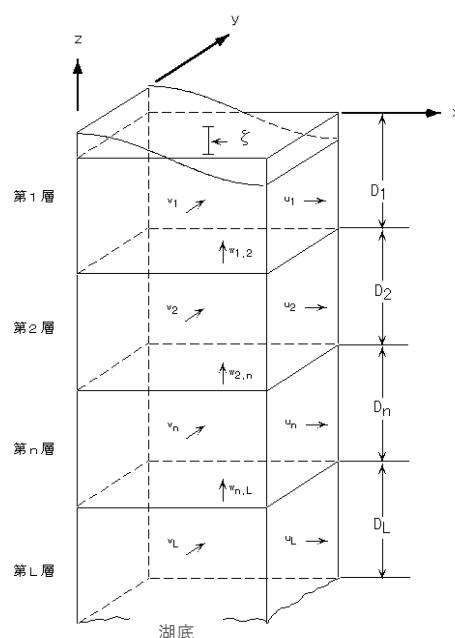


図1-11 多層レベルモデルのモデル構造図

## (2) 生態系モデル

構築したモデルは水質と底質のサブモデルを結合した水質－底質結合生態系モデルとした。各構成要素間の物質輸送を炭素 (C), 窒素 (N), リン (P), 酸素 (O) を指標元素として算定する物質循環モデルであり、水質と底質の相互作用を考慮したものである。

複数の植物プランクトン種を考慮しているほか、異臭味の判定要素である 2-MIB を植物プランクトンの計算結果から換算して、モデルの計算項目に追加した。

生態系モデルの物質循環経路図は図 1-12 に示すとおりである。

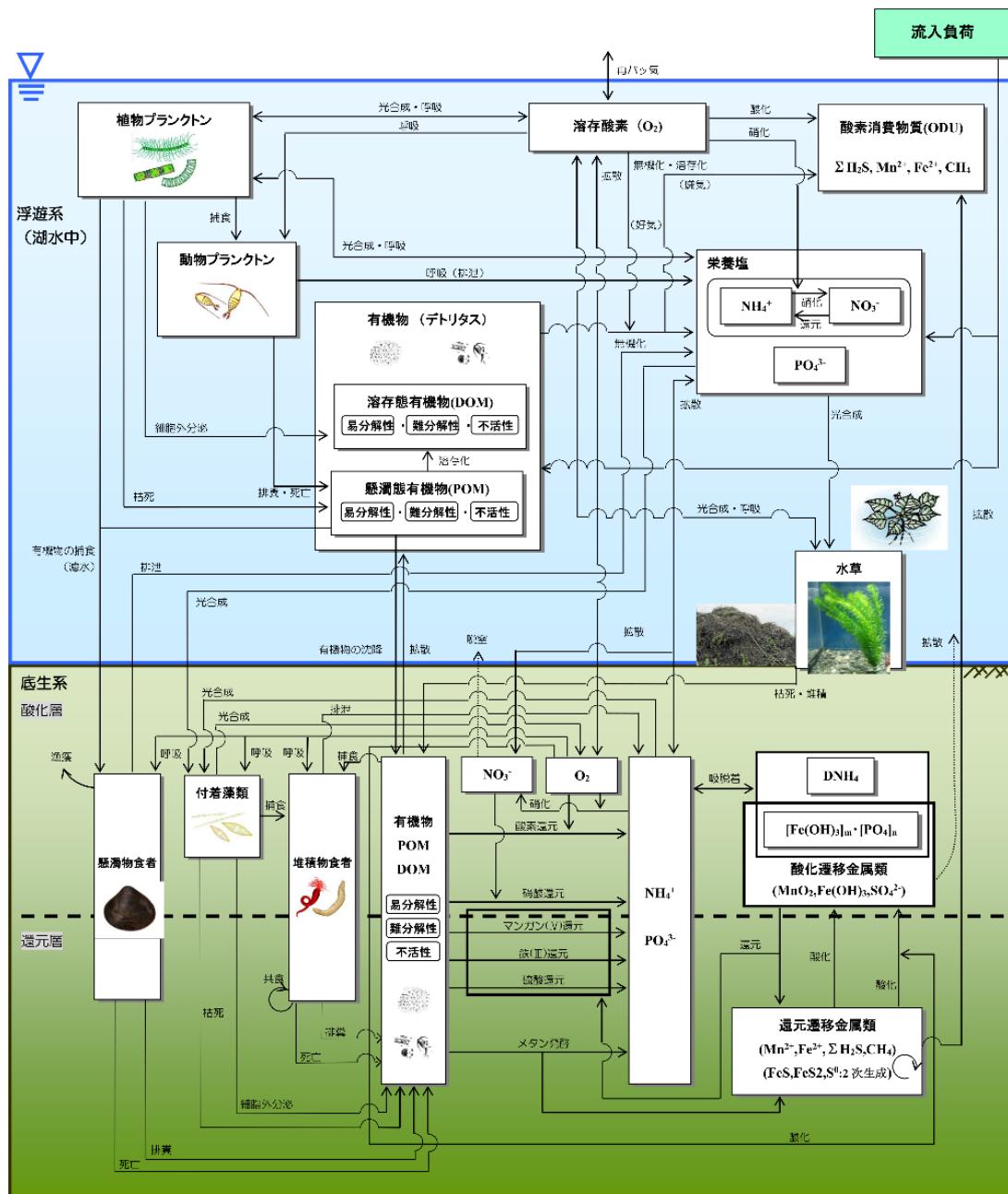


図 1-12 生態系モデルの物質循環経路図

### 1.3.2 計算条件

#### (1) 計算条件の概要

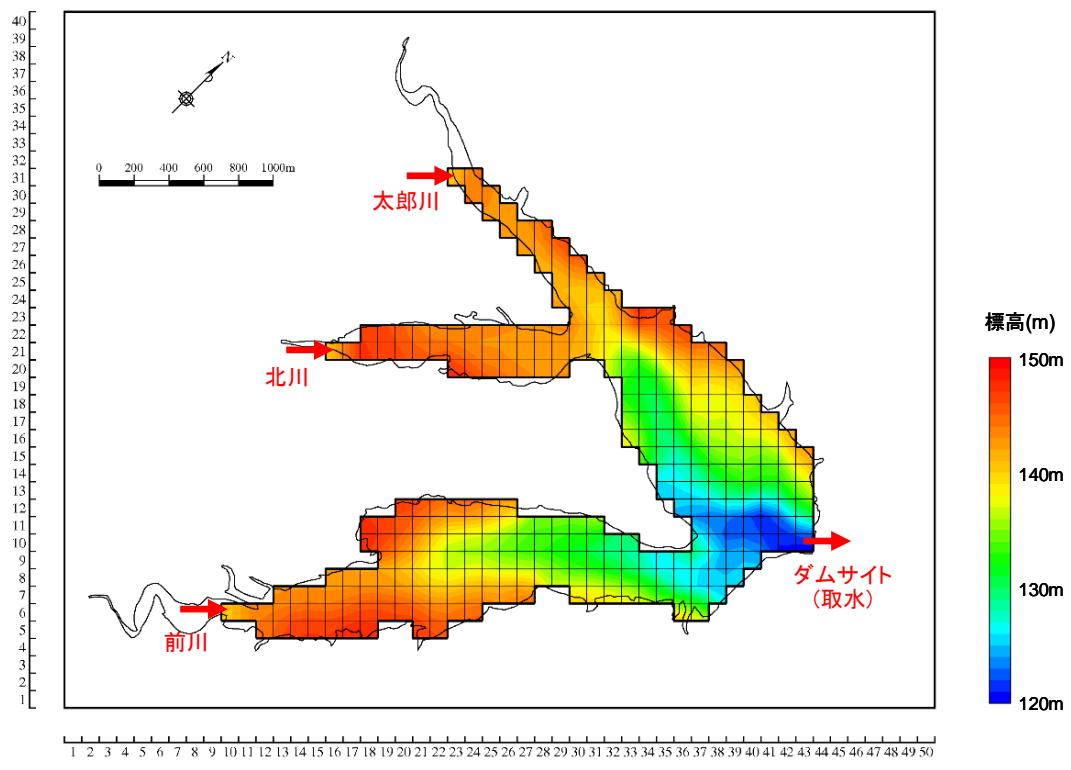
流動モデルによる計算に必要な条件とその設定方法の概要を表 1-2 に示す。

表 1-2 流動モデルによる計算に必要な条件項目と設定方法

項目	詳細	設定方法の概要
計算対象年度	豊水年 渴水年 平水年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・豊水年：平成 29 年度</li> <li>・渴水年：平成 30 年度</li> <li>・平水年：令和 3 年度（現況年）</li> </ul>
地形・水深	格子分割 メッシュ別の水深	<ul style="list-style-type: none"> <li>・格子分割は 100m 間隔</li> <li>・水深は、東北地方整備局による令和 2 年の測量データを反映させた</li> </ul>
層分割	鉛直方向分割	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1m～2m</li> </ul>
気象条件	気温、風向・風速 日射量、湿度、雲量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・釜房ダム地点観測データおよび仙台地方気象台のデータを使用</li> </ul>
水収支条件	河川流入量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象河川は、前川、北川、太郎川の 3 河川</li> <li>・ダム流入水量を 3 河川の流量比で按分</li> </ul>
	河川流入水温	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アメダス蔵王の気温（96 時間移動平均）と水温との相関式により算定</li> </ul>
	放流量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダム管理日報データを使用</li> <li>・発電用取水、水道水取水、放流の設置標高より放流</li> </ul>
曝気循環設備	常用曝気設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・4 基</li> <li>・運用実績に基づき設定</li> </ul>
	夏季強循環曝気設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・6 基</li> <li>・運用実績に基づき設定</li> </ul>
	深層曝気設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1 基</li> <li>・運用実績に基づき設定</li> </ul>
水理に関するパラメータ	湖面摩擦係数 底面摩擦係数 渦動粘性・拡散係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モデル内で求まる。</li> </ul>

## (2) 対象範囲と地形・水深条件

釜房ダム貯水池の計算格子と標高分布を図1-13に示す。標高分布は、令和4年度評価業務において、国土交通省東北地方整備局釜房ダム管理所が令和2年に実施した測量データに基づき設定したものを使用した。



(出典) 令和4年度「第7期釜房ダム貯水池湖沼水質保全計画策定業務」報告書

図1-13 釜房ダム貯水池の計算格子及び標高分布

## (3) 層分割

鉛直層分割については以下のように設定した。なお、基準面はEL.140mである。

0~3m	第1層（層厚可変）	14m~15m	第8層
3m~5m	第2層	15m~16m	第9層
5m~7m	第3層	16m~17m	第10層
7m~9m	第4層	17m~18m	第11層
9m~11m	第5層	18m~19m	第12層
11m~13m	第6層	19m~	第13層
13m~14m	第7層		

## (4) 気象条件

気温、風向・風速、相対湿度、全天日射量については、釜房ダム地点のデータを使用した。

雲量については、気象庁の仙台のデータを使用した。

なお、釜房ダム地点の気象データは、国土交通省より提供を受けた。

## (5) 流入河川条件

### 1) 河川流量

河川水の流量条件としては、3河川（太郎川、北川、前川）の流量を与えた。各河川の流量は、ダム流入水量を、3河川の流量比で按分して求め、図1-13に示す各支川の流入点から流入するものとした。

なお、ダム流入水量データは、国土交通省より提供を受けた。

### 2) 河川水温

流入水の水温は、蔵王の気温と河川水温との関係式（回帰係数）を用いて設定した。

河川での測定は月1回の頻度に限られているため、各流入河川における水温観測結果と、アメダス蔵王（気象庁）の移動平均気温との直線回帰による相関解析を行い、河川別に蔵王の移動平均気温から毎時の河川水温を推定するものである。移動平均期間を24時間、48時間、72時間、96時間、120時間、144時間等と変えて相関係数を求めたところ、移動平均期間を96時間としたケースが最も相関係数が高くなかった。相関解析の結果は図1-14に示すとおりであり、蔵王の気温と河川水温との間には良い相関が見られる。

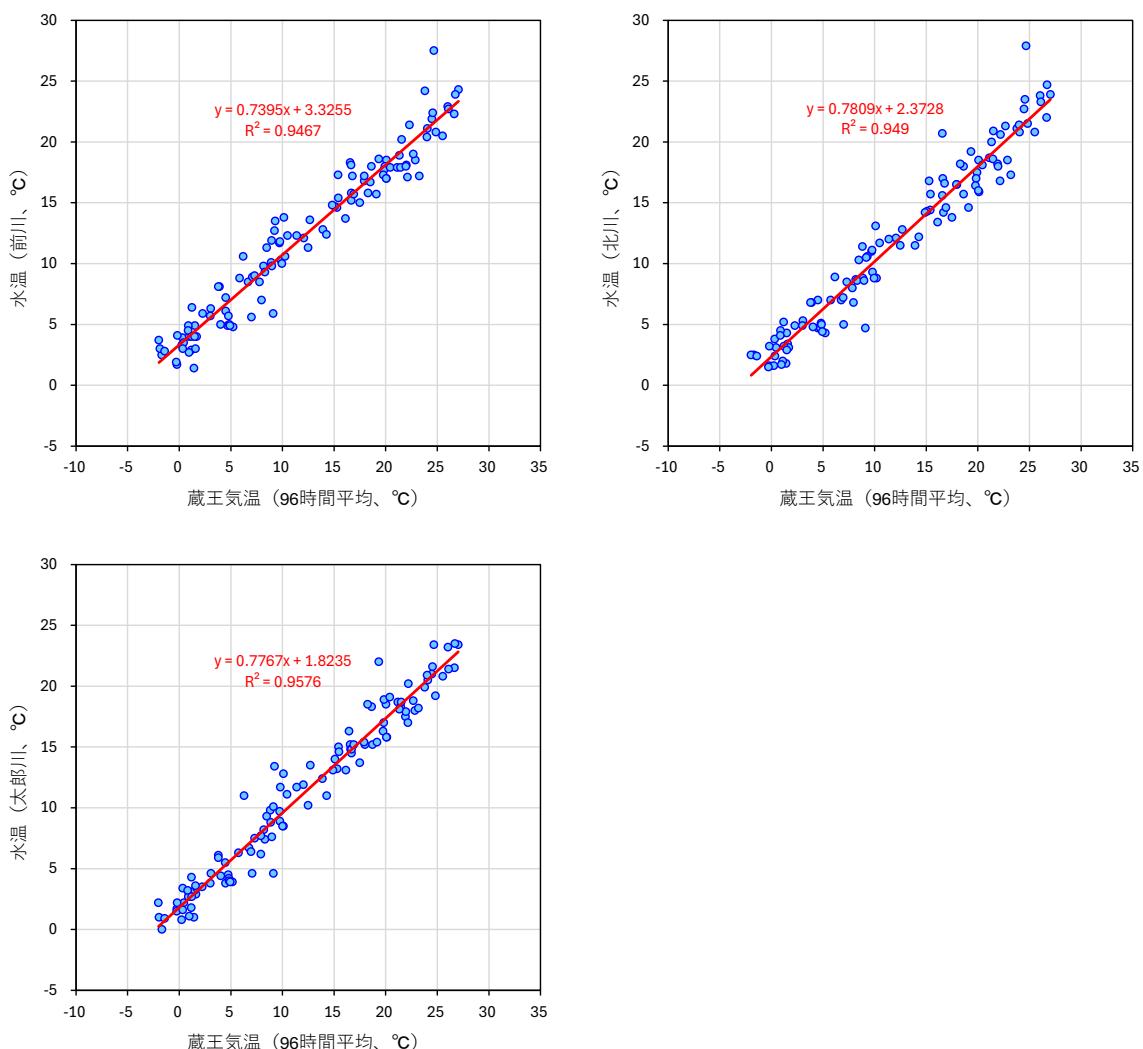


図1-14 アメダス蔵王(気象庁)の96時間移動平均気温と各流入河川水温との相関

(平成24年度～令和3年度)

## (6) ダム放流量

流出条件については、ダム管理日報の放流量のデータを用い、図1-13に示したダムサイトから流出させた。

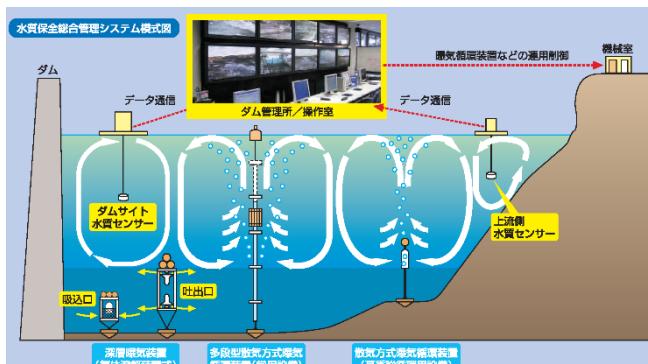
なお、ダム管理日報データは、国土交通省より提供を受けた。

## (7) 曝気循環設備の取り扱い

釜房ダム貯水池では、散気曝気装置・夏期強循環設備が稼働しており、これらによる鉛直方向の強制循環をモデルに反映するため、Asaeda & Imberger<sup>6</sup> によるダブルブルームモデルを流動モデルに組み込んだ。釜房ダム貯水池における曝気装置の稼働イメージを図1-15に、曝気循環流（ダブルブルーム）の模式図を図1-16に示す。

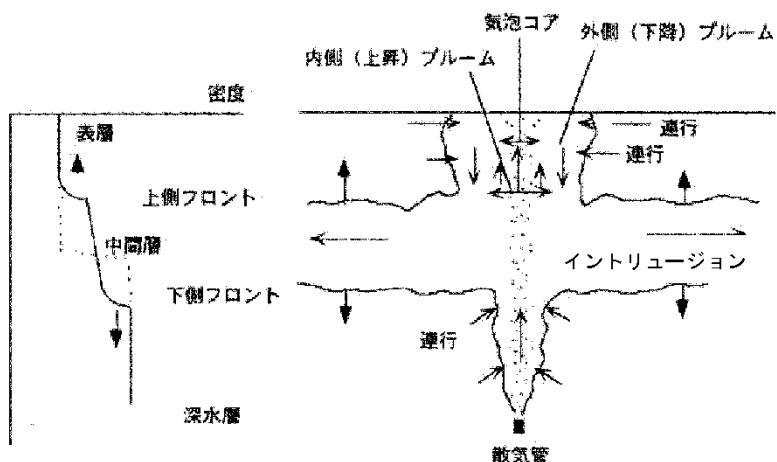


(出典) 釜房ダム Web サイト



(出典) 釜房ダムパンフレット(釜房ダム管理所, 2017)

図1-15 釜房ダム貯水池における曝気装置設置状況



(出典) 曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案), 国土交通省河川局河川環境課, 平成17年10月版.

図1-16 曝気循環流の模式図

<sup>6</sup> Asaeda,T. and J. Imberger(1993) : Structure of bubble plumes in linearly stratified environments.,J.Fluid Mech.,249,35-57.

### 1.3.3 水質シミュレーションモデルの再現性確認

#### (1) 比較地点

実測値と計算値を比較する地点は、釜房ダム貯水池内 7 地点の水質測定点のうち、ダムサイト（図 1-17, ST.3），貯水池 1（同, ST.4），貯水池 2（同, ST.5）の 3 地点とした。

なお、これ以外の 4 地点については、ST.11 はダム堤体内であるため対象外、ST.13～15 はモデルで河川水流入点（上流端）としていることから対象外とした。

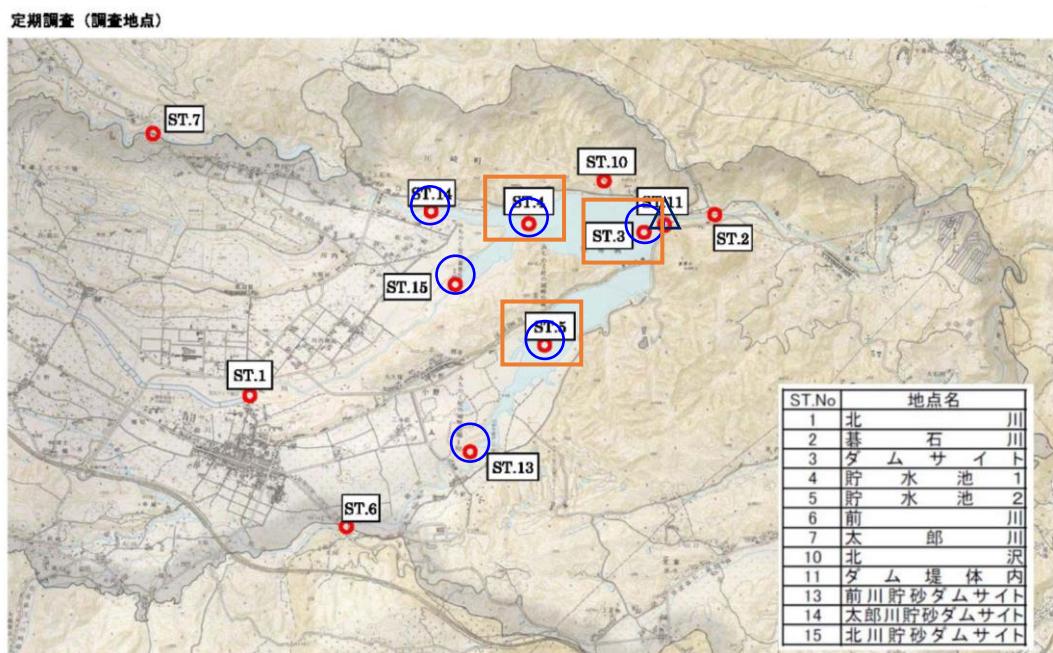


図 1-17 貯水池内測定地点と計算結果比較対象地点  
(○：水温と水質を測定, △：水温を測定, □：比較対象地点)

#### (2) 水温の時系列変動

釜房ダム貯水池の水理学的な再現性を確認するために、ダムサイト（環境基準点）、貯水池 1、貯水池 2 における水温実測結果（公共用水域水質測定結果：上層、中層、下層）と計算結果の比較を行った。

水温の実測値と計算値の時系列を図 1-18 に示す。

計算値の水温は、上層、中層、下層ともに再現性は概ね良好であり、夏季に成層し冬季に鉛直一様となる季節変動が表現されている。

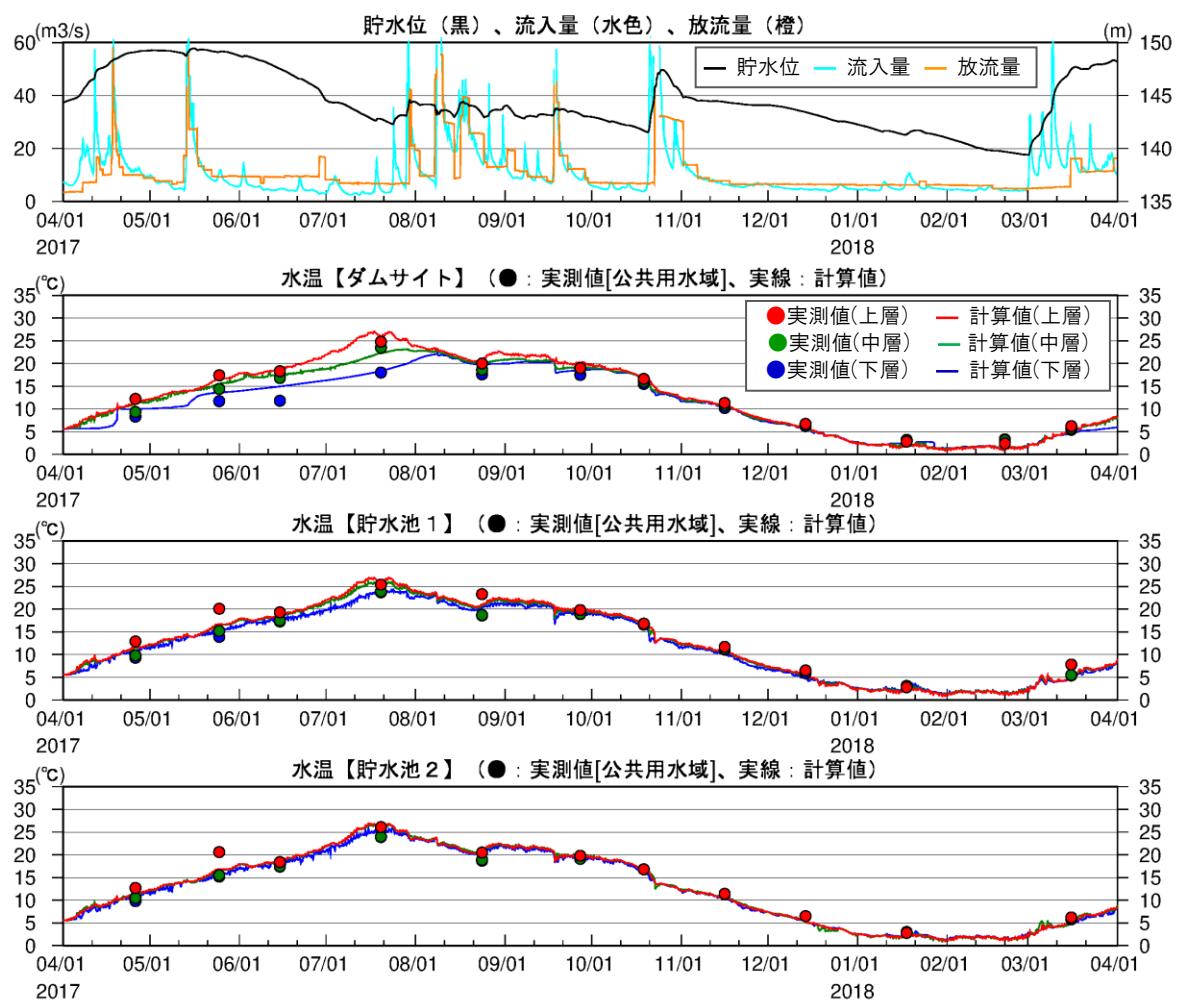


図 1-18(1) 水温の実測値と計算値の比較 平成 29(2017)年度  
(ダムサイト, 貯水池 1, 貯水池 2)

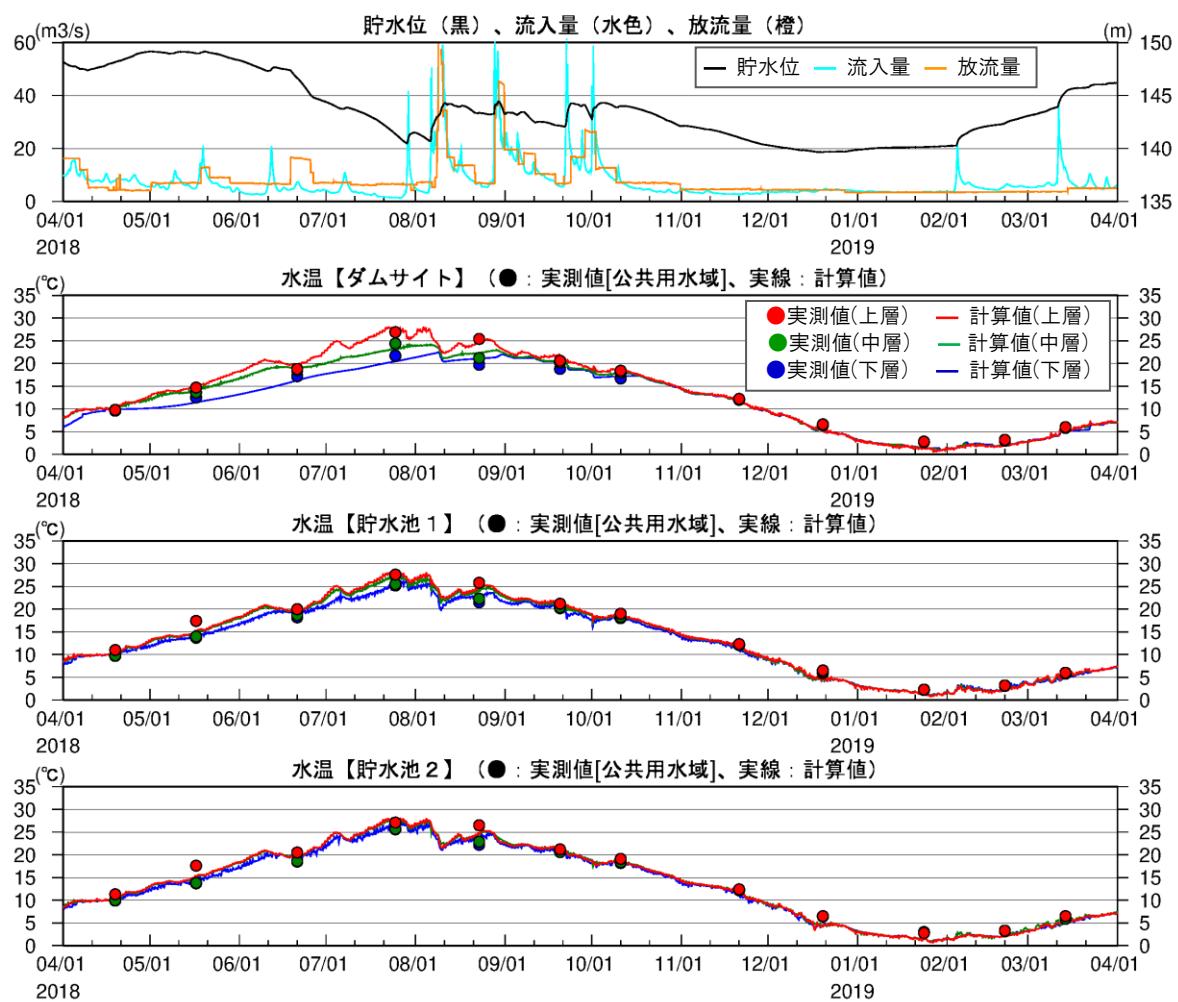


図 1-18(2) 水温の実測値と計算値の比較 平成 30(2018)年度  
(ダムサイト, 貯水池 1, 貯水池 2)

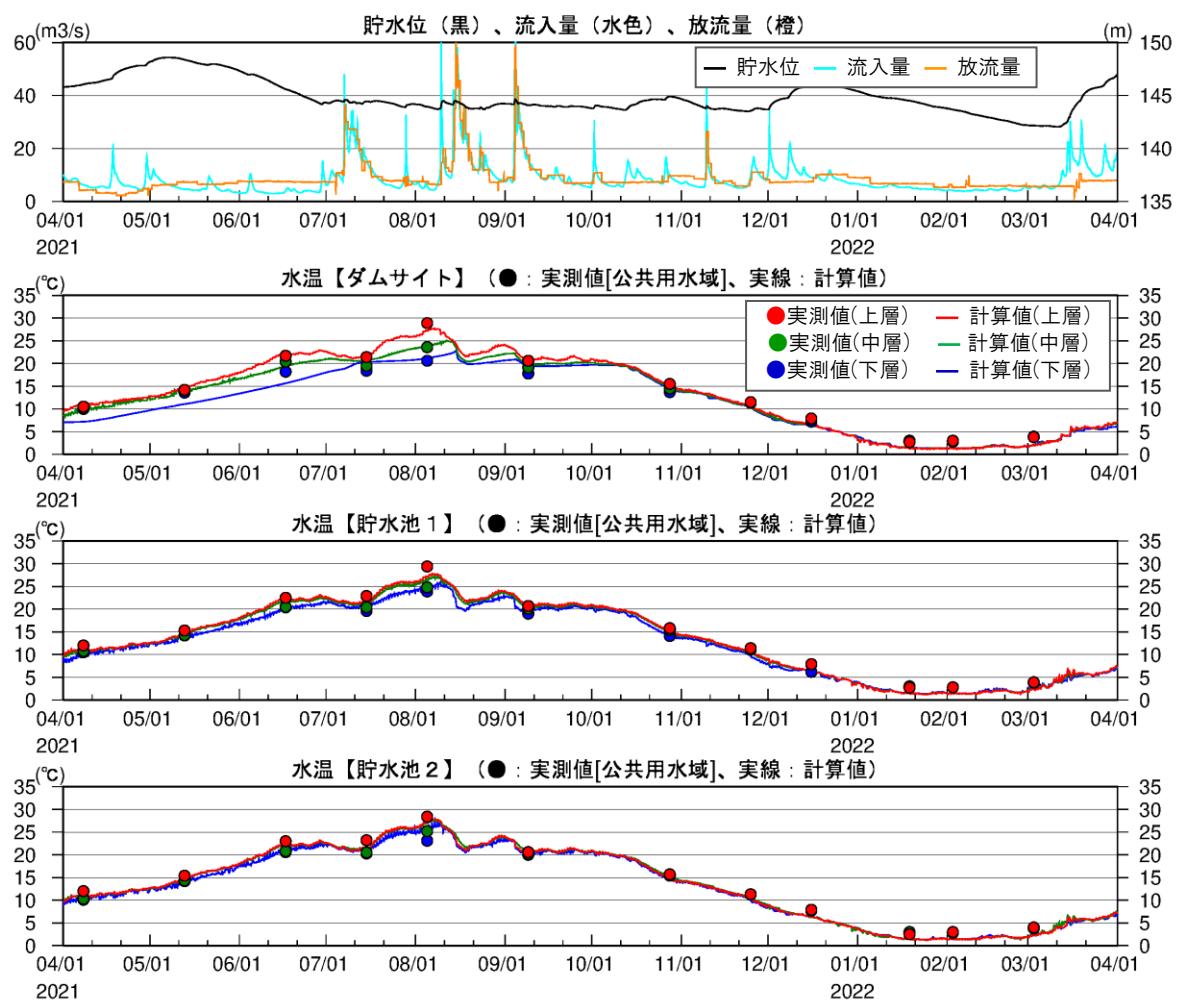


図 1-18(3) 水温の実測値と計算値の比較 令和3(2021)年度  
(ダムサイト, 貯水池1, 貯水池2)

## 2. 今後の予定

昨年度検討した9つの将来シナリオに基づき、釜房ダム貯水池の将来水質シミュレーションを実施する。9つの将来シナリオの内訳は(1)渴水年シナリオ3ケース、(2)平水年シナリオ3ケース、(3)豊水年シナリオ3ケース、である。各シナリオの概略について、次ページ以降に示した。これら9つのシナリオにおける気温・降水量・風向風速・相対湿度などが将来水質シミュレーションの入力条件となる。

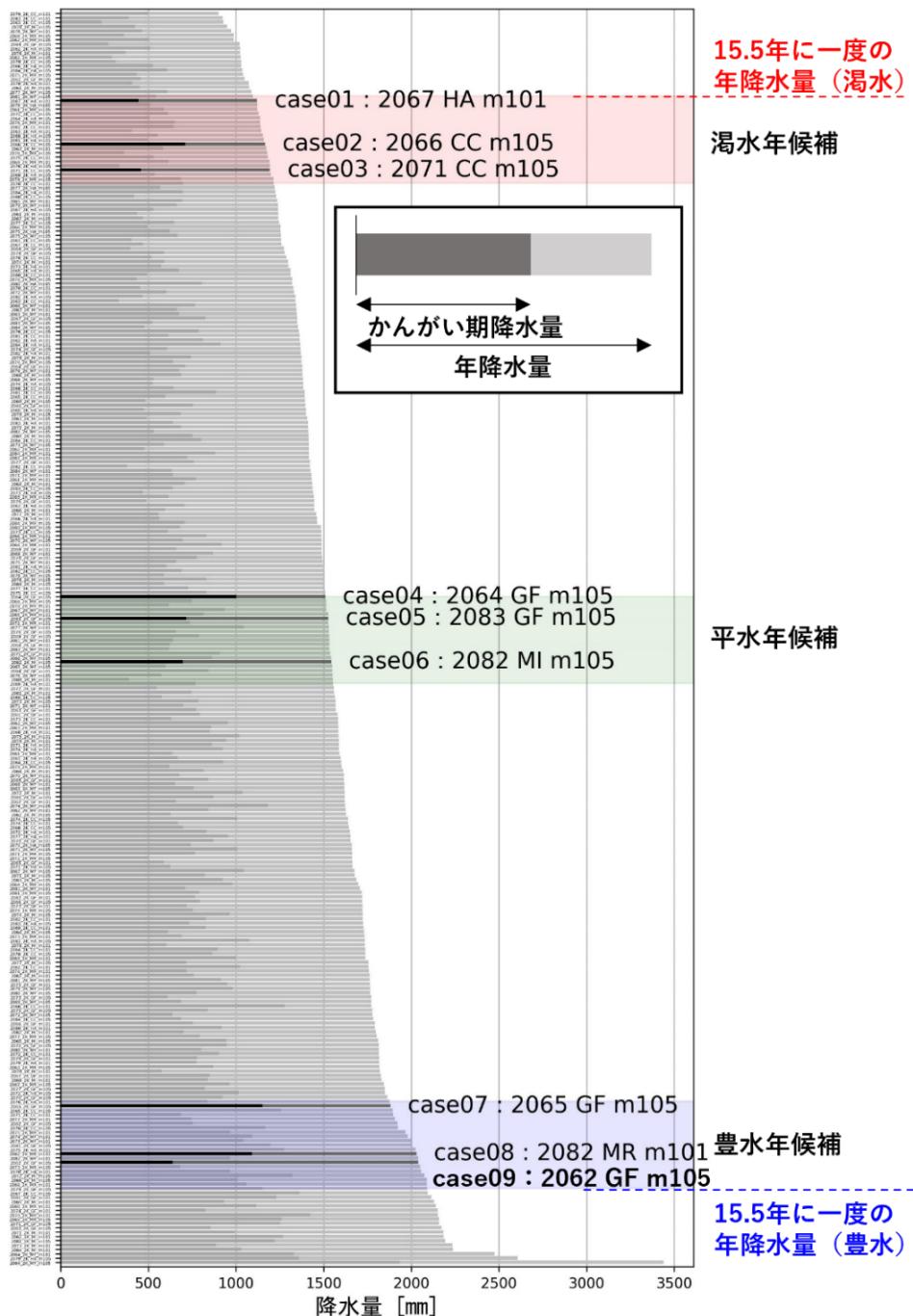


図2-1 2°C上昇実験の全年、メンバの年降水量・かんがい降水量と、抽出した9つの将来シナリオ（「2062 GF m105」は計算メンバを表すラベル。2062年の計算を行っているのではなく、あくまで2040年頃の気象場を計算していることに注意。）

## (1) 渇水年シナリオ

渴水年シナリオ 3 ケースの累積降水量を図 2-2 に示す。これら 3 ケースを将来気候下における降水量として、水質シミュレーションの入力データとする。以下に 3 ケースの概略を示す。

case01：かんがい期間中、少ない雨が安定して降り続けるシナリオ。

case02：4 月までの降水量が少ないが、かんがい期降水量は平年的であるシナリオ。

case03：かんがい期前半（5-6 月）の降水量が少なく、7 月に雨が集中するシナリオ。

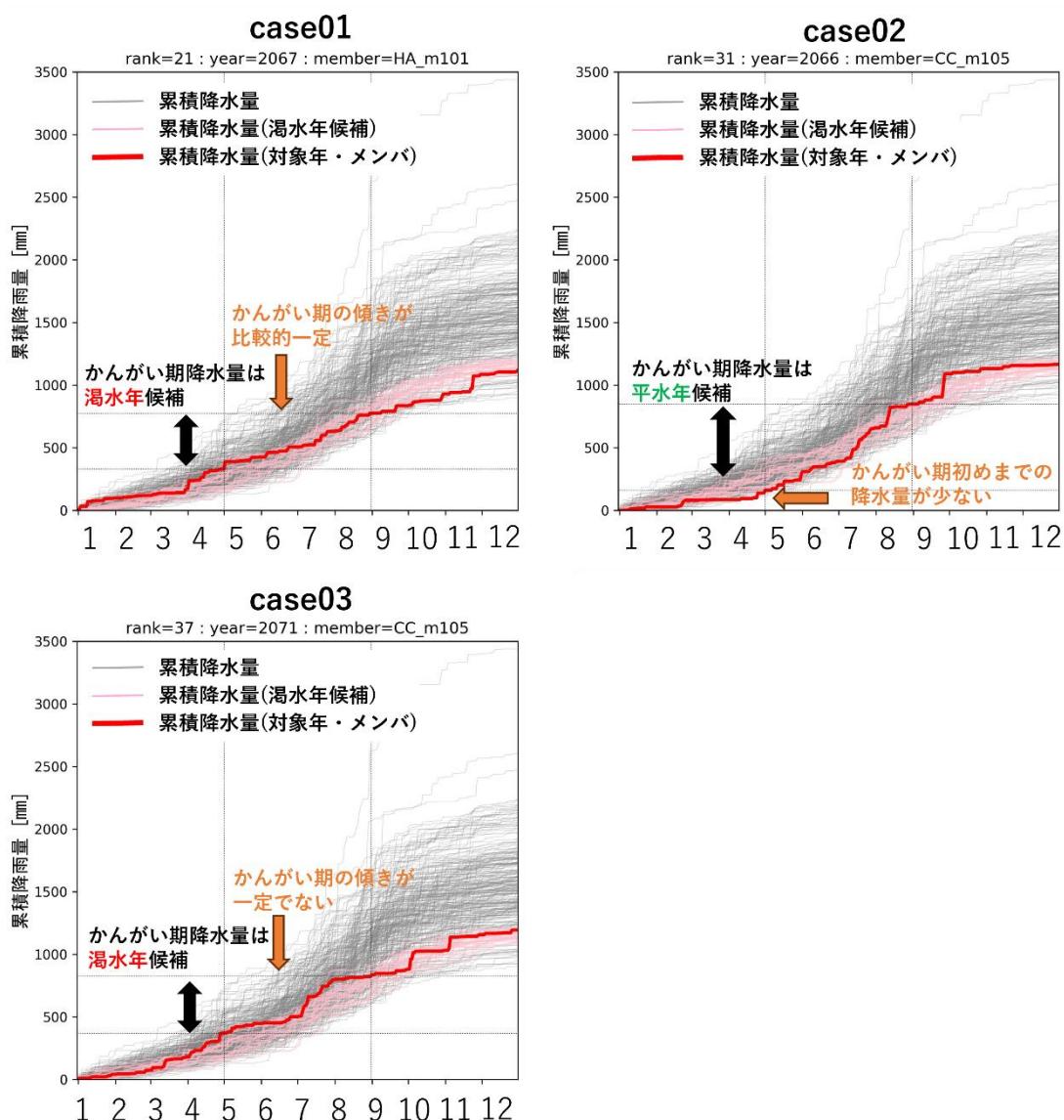


図 2-2 選択した渴水年シナリオの累積降水量

## (2) 平水年シナリオ

平水年シナリオ 3 ケースの累積降水量を図 2-3 に示す。これら 3 ケースを将来気候下における降水量として、水質シミュレーションの入力データとする。以下に 3 ケースの概略を示す。

case04：かんがい期中盤である 7 月以降に降水量が増加するシナリオ。

case05：春先までの降水量が少なく、6 月・7 月の降水量が大きいシナリオ。

case06：春先までの降水量が多く、6 月～8 月前半の降水量が比較的安定しているシナリオ。

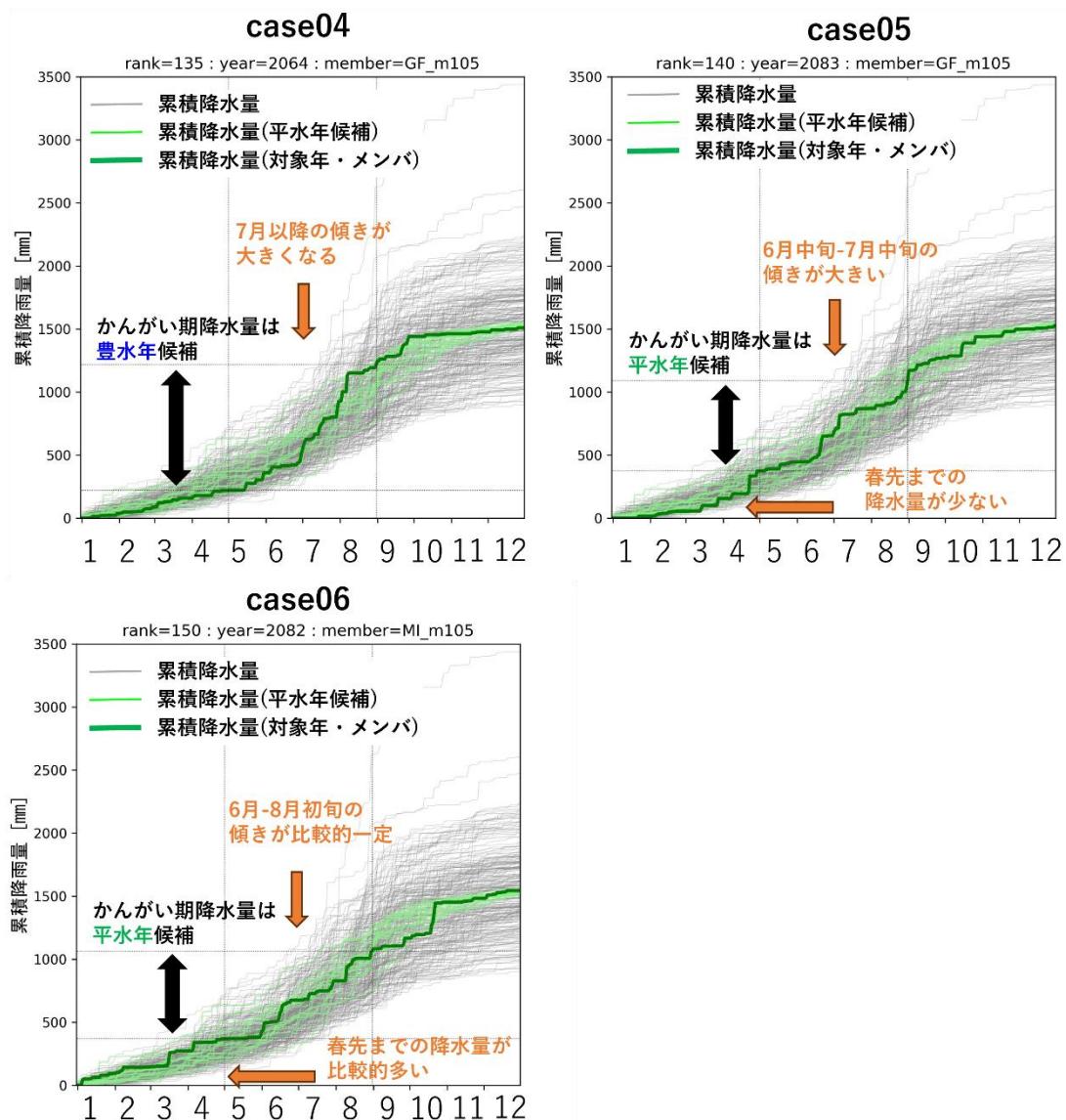


図 2-3 選択した平水年シナリオの累積降水量

### (3) 豊水年シナリオ

豊水年シナリオ 3 ケースの累積降水量を図 2-4 に示す。これら 3 ケースを将来気候下における降水量として、水質シミュレーションの入力データとする。以下に 3 ケースの概略を示す。

case07：7月後半から9月にかけて降水量が大きくなるシナリオ。

case08：春先までの降水量が多く、かんがい期間中、安定して降水量があるシナリオ。

case09：年間でみると豊水年だが、かんがい期降水量が平水年以下であるシナリオ。

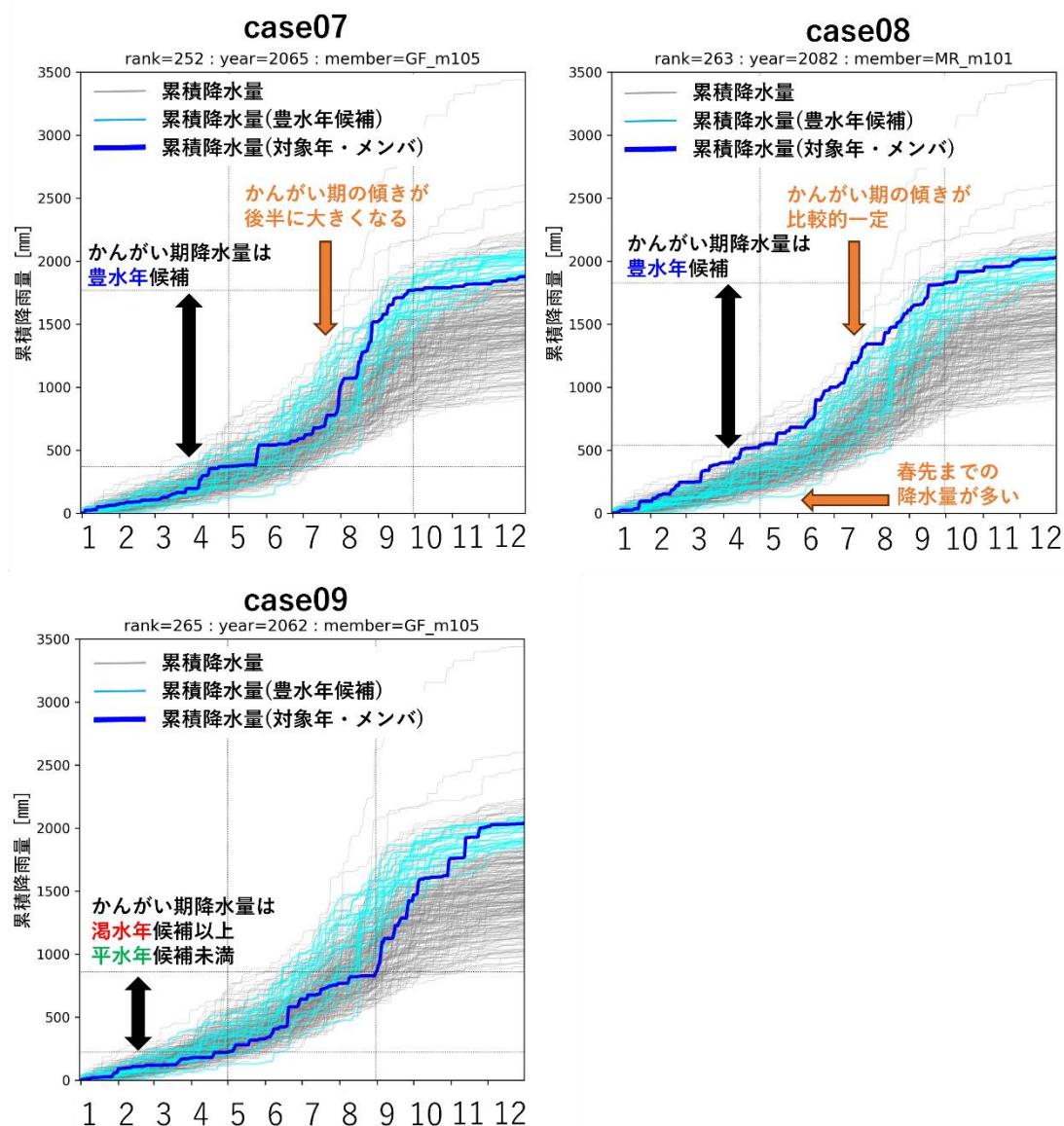


図 2-4 選択した豊水年シナリオの累積降水量

# 増水時における河川からの負荷量把握のための調査について

## 1. 調査の目的

大量降雨時における森林や農地等から流出する汚濁負荷量を把握・推定し、内部生産と増水時の流出量との内訳を把握するため、以下のとおり水質調査を実施する。

## 2. 調査概要

### 2.1 調査地点

調査地点は、図 2-1 に示す釜房ダムに流入する主要な河川である太郎川の芋窪橋、北川の北川橋、前川の北向橋とする。

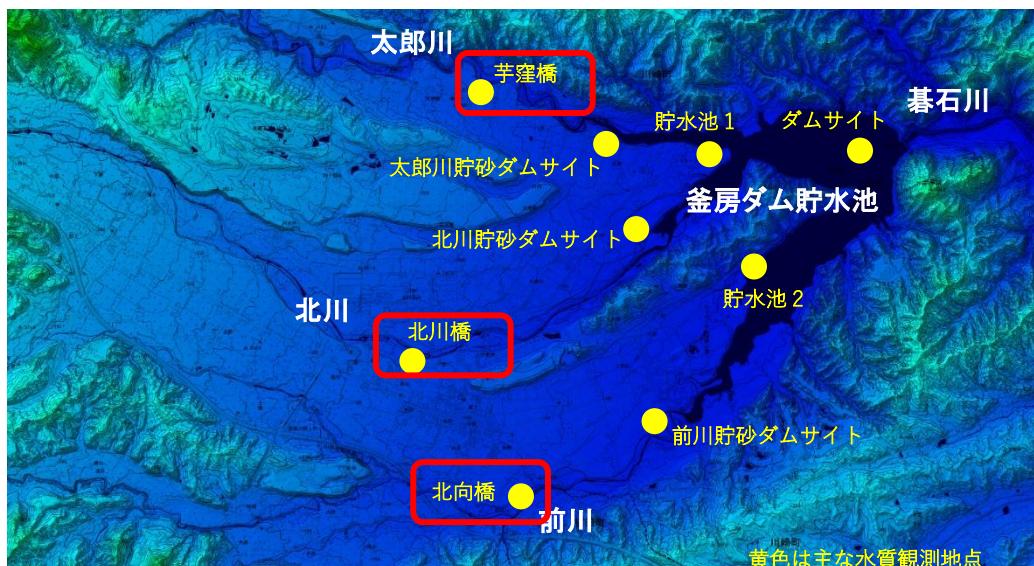


図 2-1 釜房ダム及びその流域(国土地理院標高地形図を加工して作成)

## 2.2 河川流量調査

各調査地点で令和6年4月16日に横断測量を実施し、川幅を10等分した幅で測線を設け、流量観測に必要な河床横断図を作成した。太郎川のいもくぼ橋は当初は上流側で流量を観測予定だったが、5月13日の調査時には下流側の方が流況が安定していたため、下流側で再度横断測量した。

横断測量は、橋手すり上端から水面と水底までの距離を計測して、橋直下の河床横断図を作成し河床形状を把握した。横断測量概要を図2-2に、各地点の河床横断図を図2-3に示す。10等分した測線の他に最も水深の深い位置を水位計測位置とした。

北川の北川橋と前川の北向橋では作業の安全性と河床形状・流況の安定性を考慮し、遊歩道の下流側で流量調査を実施することとした。

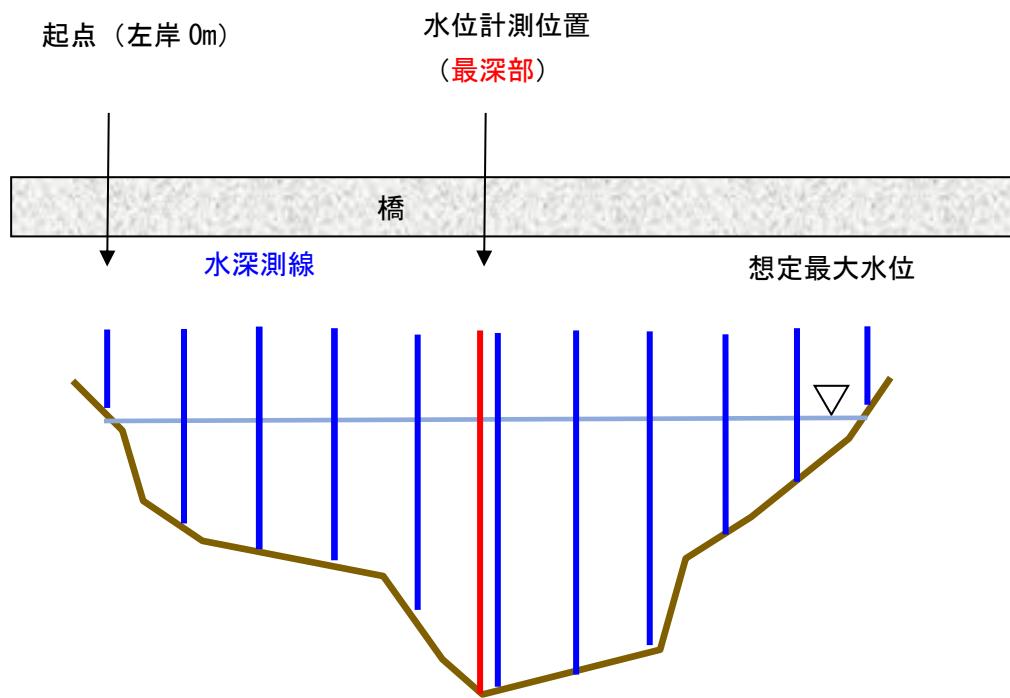
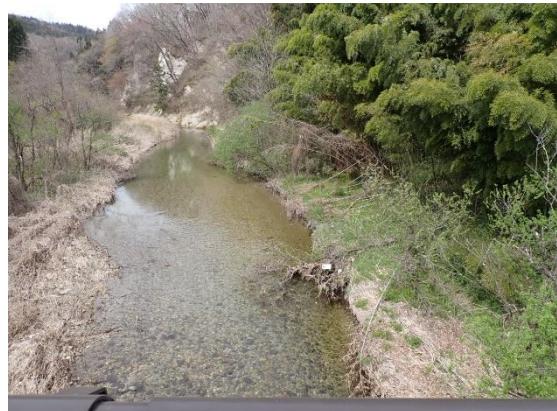
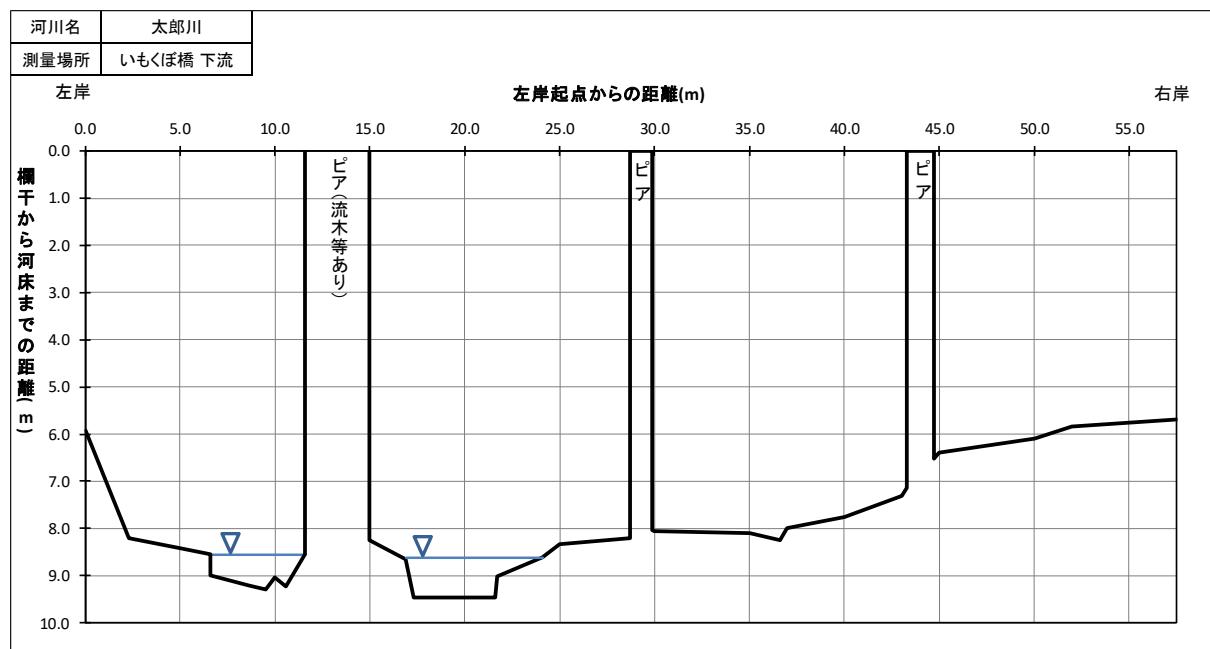


図2-2 横断測量概要

令和6年4月16日（横断図は5月13日に測量）



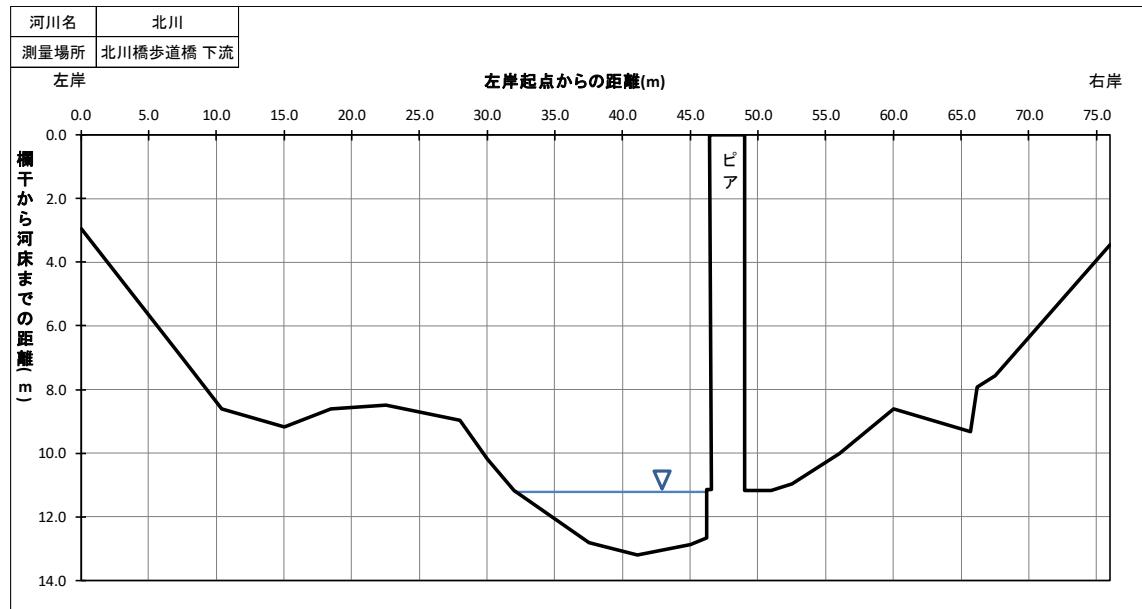
いもくぼ橋上流



いもくぼ橋下流

図 2-3(1) 河床横断図(太郎川 いもくぼ橋)

令和6年4月16日



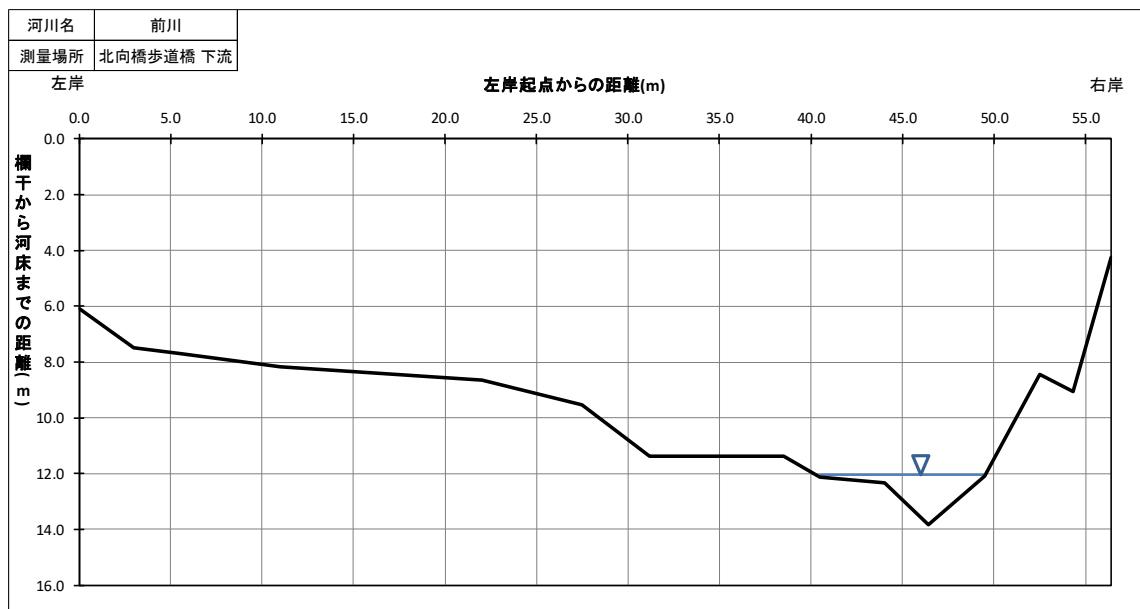
北川橋遊歩道上流



北川橋遊歩道下流

図 2-3 (2) 河床横断図(北川 北川橋遊歩道(下流側))

令和6年4月16日



北向橋遊歩道上流



北向橋遊歩道下流

図 2-3(3) 河床横断図(前川 北向橋遊歩道(下流側))

河川流量調査は3降雨で実施する。調査実施の判断は、前日の予想総降雨量が概ね30mm以上の降水量があると予報された場合に、事前に発注者と協議する。天気予報は日本気象協会ホームページ（<https://tenki.jp/>）の宮城県川崎町 1時間天気累積雨量を用いる。

流速測定は降雨に伴う流量の増加・低減を捉えられるよう、降り始め～降り終わり、河川水位の低減が落ち着くまで実施する。また、測定のタイミングは、降雨・流出の状況に応じて30分～1時間ピッチ程度とし、1降雨当たり10回以上の測定を行う。

流速測定は、河川内に立ち入っての測定は危険を伴い困難なため、橋上から実施する。流速測定の概要を図2-4に示す。

- ・ 水位計測位置（最深部）で、橋上手すりから水面までの距離を計測
- ・ 水面の左右端位置（起点からの距離）を計測・記録し、水面幅を3～5等分して流速測定位置を決定。何等分とするかは増水時の流況や河川幅より判断する。
- ・ 各断面中央で水面直下の流速を電磁流速計で測定（図2-5参照）。
- 6割および2割、8割水深での測定は、流速計ケーブルに流下物（植物片等）が絡まり危険なため実施しない。

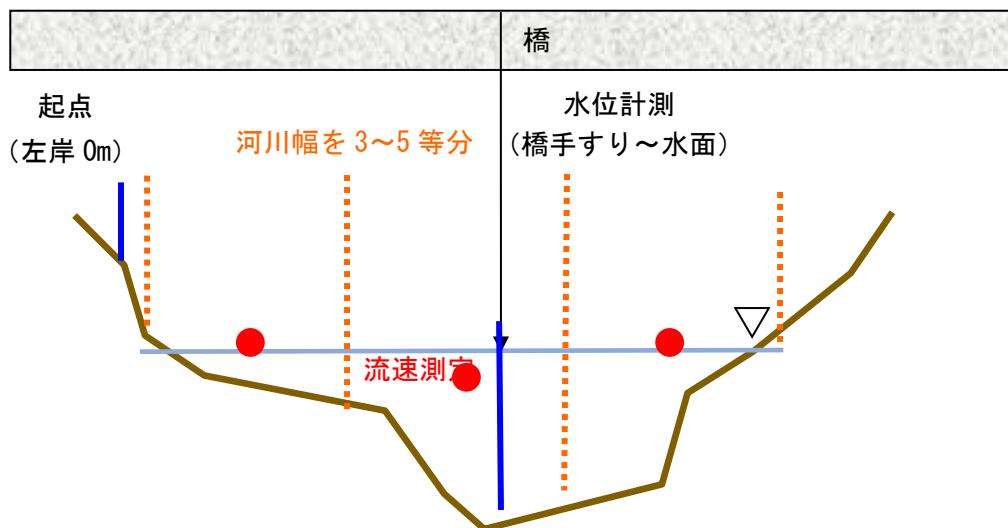


図2-4 流速測定概要



JFE アドバンテック社製 AEM-D 流速計

- ・測定レンジ：0～5m/sec
- ・精度：±0.002m/sec



JFE アドバンテック社製 AEM213 流速計

- ・測定レンジ：0～2.5m/sec
- ・精度：±1cm/sec

図 2-5 使用する流速計

## 2.3 河川水質調査

河川水質調査は河川流量調査と同じ3降雨で実施する。採水は河川流量調査と同時に実行することとし、降雨に伴う河川水質濃度の上昇・下降を捉えられるよう、降り始め～降り終わり、河川水位の低減が落ち着くまで実施する。また、採水のタイミングは、降雨・流出の状況に応じて30分～1時間ピッチ程度とし、1降雨当たり10回以上の採水を行う。調査項目と調査・分析方法を表2.1に示す。

採水した水質試料は透視度もしくは濁度を測定し、室内分析を実施する試料は発注者と協議の上選定する。

調査結果のデータの他、調査地点概要及び位置図、調査日の天候・降雨状況及び現地状況、調査風景写真等を取りまとめる。

表2.1 調査項目および調査・分析方法

調査項目	調査・分析方法
天候	気象庁 気象観測の手引き 目視による雲量からの判定
水温	デジタル温度計等による。
透視度	JIS K 0102(2019) 9 透視度計による
色相	色名帳による
水素イオン濃度(pH)	JIS K 0102(2019) 12.1 ガラス電極法
電気伝導度(EC)	JIS K 0102(2019) 13 白金電極法
濁度	JIS K 0101(2017) 9.4 積分球濁度
溶存酸素量(DO)	JIS K 0102(2019) 32.1 よう素滴定法
浮遊物質量(SS)	昭和46年環境庁告示第59号 付表9 グラスファイバー・フィルターによる吸引ろ過法
化学的酸素消費量(COD)	JIS K 0102 17 100°Cにおける過マンガン酸カリウム酸素消費量（酸性法）
溶解性化学的酸素消費量(D-COD)	ろ過後のろ液について、JIS K 0102(2019) 17
全窒素(T-N)	JIS K 0102(2019) 45.6 流れ分析法
溶解性全窒素(D-T-N)	ろ過後のろ液について、JIS K 0102(2019) 45.6
全リン(T-P)	JIS K 0102(2019) 46.3.1 ペルオキソニ硫酸カリウム分解法
溶解性全リン(D-T-P)	ろ過後のろ液について、JIS K 0102(2019) 46.3.1

### 3. 調査結果

5月13日（月）に第1回目の調査を実施した。

#### 3.1 気象状況

調査日当日の降水状況を図3-1に示す。観測地点は北川上流部の下原・笹谷とした。その他太郎川上流部にも観測地点が存在するが（図3-2）、調査日当月は閉局していた。

5月13日の前に5月7日に降水が発生していたが、下原・笹谷とともに日降水量は3mmと少なく、その後5月8日から5月12日までのべ5日間は降水が見られなかった。下原の5月7日0時から5月14日0時までの累積降水量は31mmであったが、そのうち28mmは5月13日に発生した降水である。笹谷も同様の傾向であった。従って、5月13日の水質に与える影響のほとんどが調査日当日の降水によるものだと考えられる。

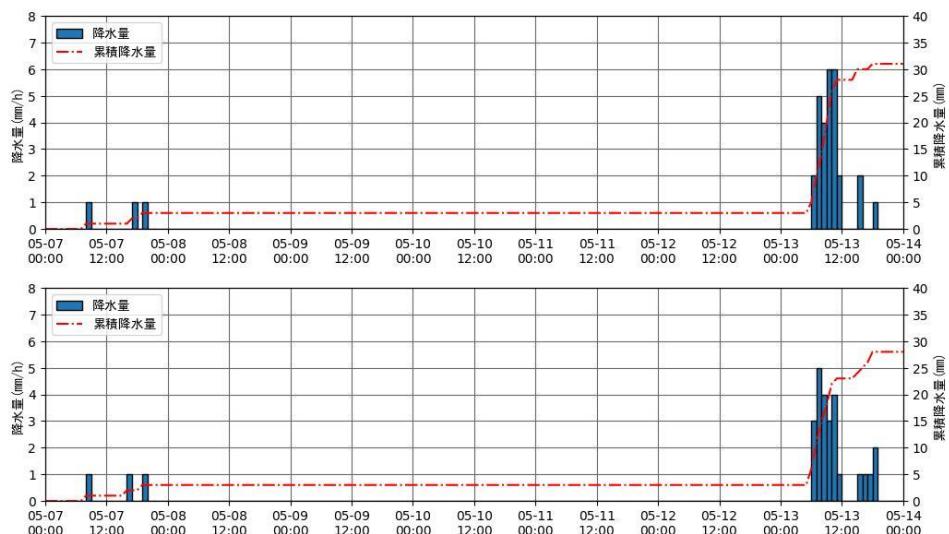


図3-1 上図:下原における降水量、下図:笹谷における降水量



図3-2 釜房貯水池上流に位置する降水観測所(地理院地図よりいであ(株)作成)

### 3.2 調査結果

第1回調査の河川の状況を図3-3に示す。

各調査地点には5月13日の7時頃到着し、水位と透視度を確認した。各河川とも平水時は透視度が100cm以上であるが、前川は既に80cmまで低下していたため採水・流量観測を開始した。太郎川と北川は透視度が100cm以上であったため、15~30分間隔で測定して透視度の低下を確認した後、採水・流量観測を開始した。採水・流量観測は透視度の上昇を確認して終了した。

	河川の状況	濁りの状況
太郎川 (芋窪橋)		
北川 (北川橋)		
前川 (北向橋)		

図3-3 第1回調査時の河川状況

現地観測および水質分析結果を表3.1に示す。サンプル数は太郎川4個、北川3個、前川10個である。pH、EC、DOには大きな変化はみられなかったが、前川は他の河川に比べてECがやや高い値であった。

太郎川は流量がやや増加し、流量が最大となった際に透視度は46cmの最小値となり、濁度、SSはそれぞれ9.4度、14mg/Lの最大値となった。CODとP類、N類は流量が最大となる前に最大値を示した。

北川は流量がやや増加し、流量が最大となった際に透視度は66cmの最小値となり、濁度、SSはそれぞれ5.5度、7mg/Lの最大値となった。CODとP類、N類は他の地点と比較し変動幅が小さかった。

前川は流量が調査開始時の2倍以上まで増加し、他の河川と同様に11時頃に最大となった。透視度は流量が低下し始めてから4時間後の15:25に13cmの最小値となり、濁度、SSはそれぞれ35.8度、45mg/Lの最大値となった。CODとP類は濁度、SSが最大（透視度が最小）となった15:25に最大値を示したが、N類は降水量・流量のピーク前に最大値となった。

表3.1 第1回調査 現地観測・水質分析結果(令和6年5月13日)

項目	T1	T2	T3	T4	K1	K2	K3			
	太郎川				北川					
	いもくぼ橋				北川橋					
調査日	5月13日									
採取時刻	11:00	11:20	12:00	13:15	9:55	10:55	11:55			
流量 (m <sup>3</sup> /s)	1.52	1.80	1.73	1.66	3.22	3.87	3.68			
透視度 (cm)	65	46	57	76	87	66	98			
濁度 (度)	8.2	9.4	8.2	5.6	4.1	5.5	3.0			
p H	7.1	7.2	7.3	7.4	7.3	7.3	7.4			
EC (mS/m)	8.3	8.4	8.5	8.7	9.2	8.9	9.3			
DO (mg/L)	9.9	9.9	10.2	9.9	10.1	10.0	10.0			
SS (mg/L)	11	14	9	7	6	7	3			
C O D (mg/L)	6.1	5.5	4.7	3.6	2.6	2.6	2.3			
D-C O D (mg/L)	4.7	3.5	3.2	2.6	1.5	1.5	1.3			
T-N (mg/L)	0.69	0.63	0.50	0.38	0.54	0.54	0.46			
D-T-N (mg/L)	0.53	0.48	0.39	0.31	0.46	0.42	0.42			
T-P (mg/L)	0.166	0.137	0.082	0.047	0.054	0.061	0.052			
D-T-P (mg/L)	0.111	0.086	0.047	0.025	<0.003	<0.003	<0.003			
項目	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
	前川									
	北向橋									
調査日	5月13日	5月13日	5月13日							
採取時刻	7:25	8:25	9:25	10:25	11:25	12:25	13:25	14:25	15:25	16:25
流量 (m <sup>3</sup> /s)	2.15	2.54	3.12	3.58	4.42	4.22	3.95	3.67	3.68	3.50
透視度 (cm)	80	65	48	33	26	27	19	20	13	28
濁度 (度)	4.6	5.7	6.4	10.8	13.1	16.5	22.2	24.1	35.8	15.0
p H	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
EC (mS/m)	12	11	11	11	11	12	11	11	11	12
DO (mg/L)	9.8	9.8	10.0	9.9	—	9.8	9.7	9.7	9.7	9.8
SS (mg/L)	7	12	13	20	—	30	35	39	45	24
C O D (mg/L)	2.9	3.6	3.3	4.9	—	4.8	5.2	5.8	6.2	4.3
D-C O D (mg/L)	1.8	1.8	2.2	2.3	—	2.3	2.1	2.3	2.1	2.1
T-N (mg/L)	0.91	0.90	0.85	0.92	—	0.87	0.85	0.82	0.88	0.75
D-T-N (mg/L)	0.79	0.71	0.68	0.63	—	0.57	0.56	0.58	0.58	0.58
T-P (mg/L)	0.081	0.064	0.068	0.107	—	0.107	0.113	0.111	0.163	0.076
D-T-P (mg/L)	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	—	<0.003	<0.003	<0.003	0.028	0.022

:現地観測項目 赤字:最大値(透視度は最低値)

各分析項目間の関係性について図 3-5 に示した。懸濁態の水質である、P-COD と SS については、各地点で直線関係が見られ、バラツキが少ない。一方 P-TP と SS、P-TN と SS についても各地点で直線関係が見られるが、前川はばらつきが大きい結果となった。前川における P-TN は SS が 20mg/L を境に頭打ちになっている。続いて溶存態の水質である D-COD と COD、D-T-N と T-N については、COD、T-N が大きいほどその溶存態である D-COD と D-T-N が大きい結果となった。一方 D-T-P と T-P については、太郎川で T-P が大きいほど D-T-P が大きい結果となっているが、北川・前川では T-P の値によらず D-T-P がゼロに近い値であることが多い結果となった。

COD、N 類、P 類について、河川ごとに雨が降り始めた 5 月 13 日 6 時から水位が安定した 5 月 14 日 8 時までの総負荷量を参考値として推定した。推定方法を図 3-4 に、各河川の総負荷量を表 3.2、図 3-6 に示す。第 1 回調査では総降水量が少なく負荷量算出に必要なデータが十分に得られなかつたため、総負荷量を以下の手法で推定した。

- ① 採水期間中の総負荷量を算出する（図 3-4 の緑の面積）
- ② 採水期間中の積算水位（図 3-4 オレンジの面積）と、増水時の積算水位の算出期間の積算水位（図 3-4 オレンジ+青の面積）を求め、比率を算出する。
- ③ 採水期間の総負荷量に②で求めた比率をかけることで、増水時の総負荷量を算出。

負荷量は流量の関数であるため、本来は水位ではなく流量を使用するべきであるが、調査期間中の毎時流量が取得できないため、水位で代用した。少ない観測データから算出した値であるため、ここで示す総負荷量はあくまで参考値である。

総負荷量は全ての項目で太郎川が小さく前川が大きかった。総降水量が約 30mm であった第 1 回調査では、3 河川を合計した総負荷量は COD で約 2700kg、T-N で約 480kg、T-P で約 60kg となった。

今回はデータが少ないと上記の手法で総負荷量を算出したが、次回以降は測定データを増やし、精度良く総負荷量を算出する予定である。

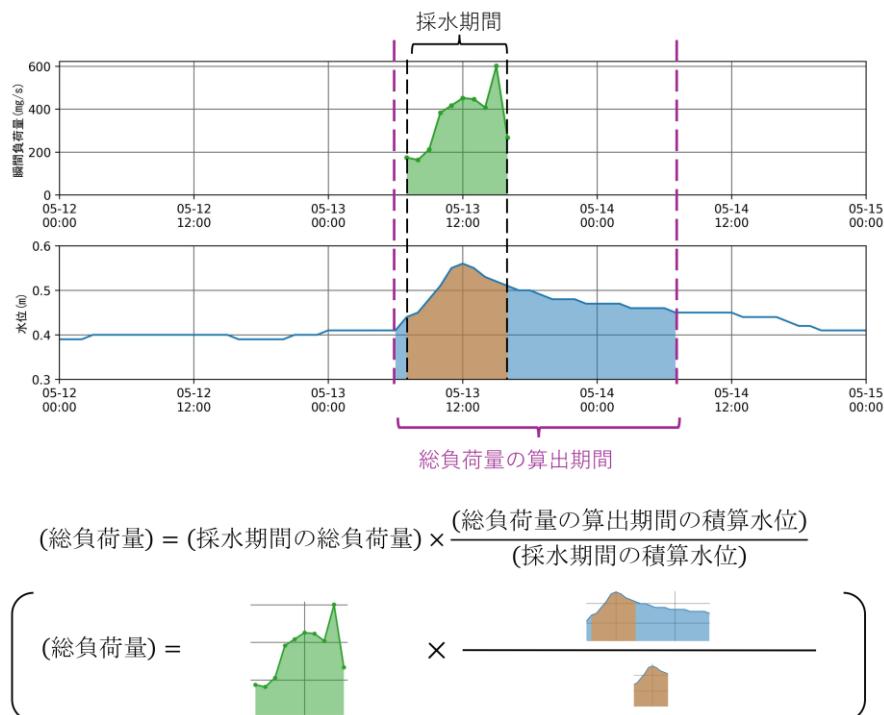


図 3-4 総負荷量(参考値)の推定方法(イメージ)

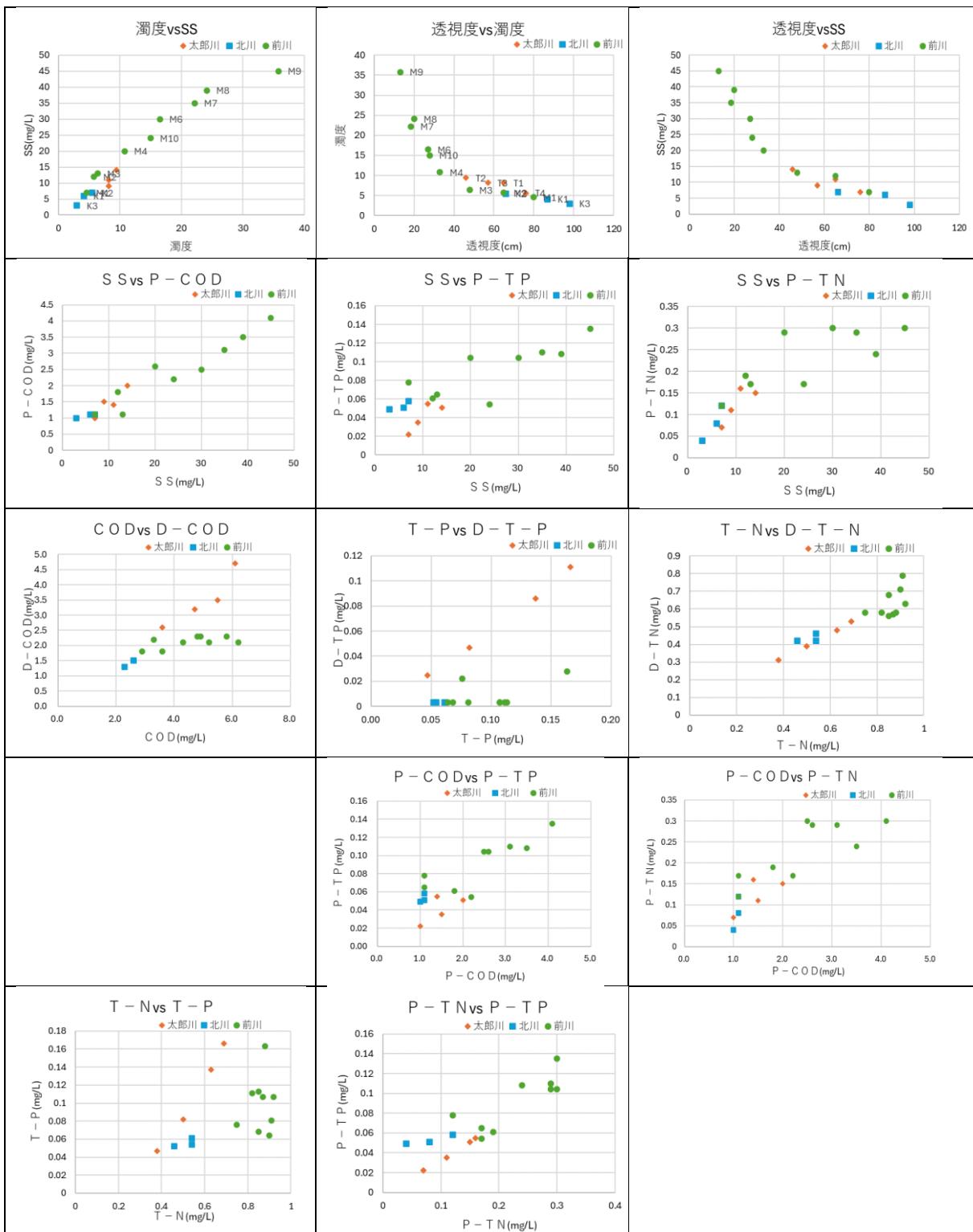


図 3-5 第1回調査 各分析項目間の関係性

表 3.2 第1回調査 総負荷量(参考値)

調査河川	COD	D-COD	T-N	D-T-N	T-P	D-T-P
太郎川	322	220	35	27	6	4
北川	855	491	176	145	19	0
前川	1,480	668	267	188	32	1
合計	2,657	1,380	478	361	58	5

※単位は kg

※D-T-P : <0.003mg/L は 0mg/L として算出

5月13日6時～5月14日8時の積算負荷量 (※参考値)

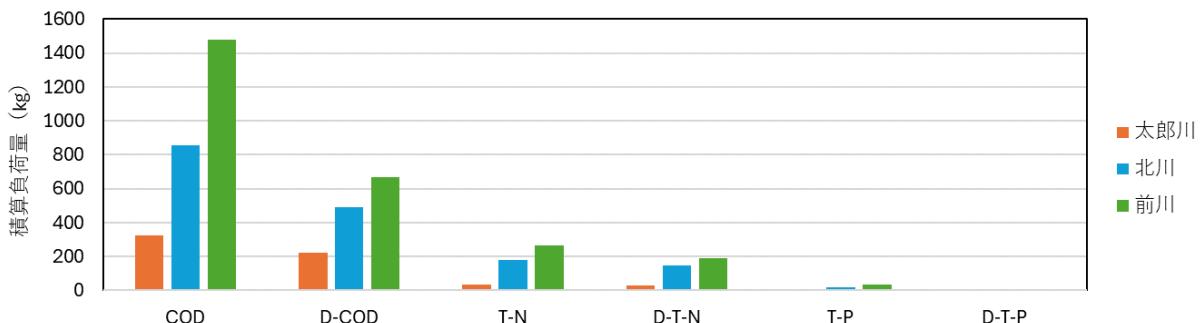


図 3-6 第1回調査 総負荷量(参考値)