

3. 流出・利水モデル及び水質解析モデルの作成

釜房ダム、耶馬溪ダム、寒河江ダム、早明浦ダムについて、気候変動による水質変化試算のための流出、利水モデルおよび水質解析モデルを構築した。

3.1 流出モデル

3.1.1 モデル概要

(1) モデル構造

各ダム流域に適用した流出モデルは、非定常の分布型物理モデルである WEP モデルを基本とし、融雪・積雪を考慮したものである。WEP モデルは表 3-1および図 3-1に示すように、水循環の素過程のみならず熱輸送の素過程も同時に解析でき、モデル解析を通して気候変動による水循環系の変化を把握するのに適している。

表 3-1 流出モデルで考慮する素過程

水循環	①蒸発散	⑥地表面流れ
	②浸透	⑦河道内の流れ
素過程	③表面流出	⑧地下水流れ
	④中間流出	⑨積雪・融雪
	⑤地下水流出	
熱輸送	①正味放射	⑤潜熱フラックス
	②短波放射	⑥顕熱フラックス
素過程	③長波放射	⑦地中熱フラックス
	④人工排熱	⑧地表面温度

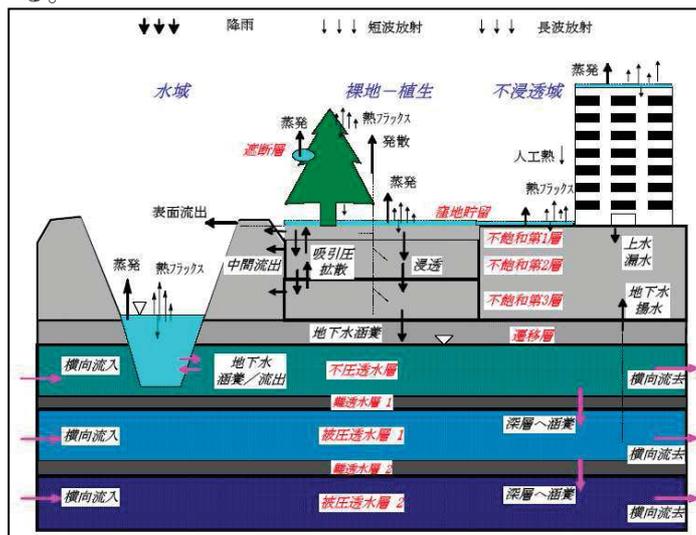


図 3-1 モデルの鉛直構造

(出典：WEP モデル解説書,土木研究所,水工研究グループ^{文獻3)})

図 3-2にモデルの平面構造を示す。メッシュ内の平均地盤高は「数値地図 50m メッシュ標高」に基づき、当該メッシュにおける最急勾配方向を 8 方向に分けてメッシュ別に設定している。表面流出については最急勾配方向へ流下するものとし追跡計算を行った。

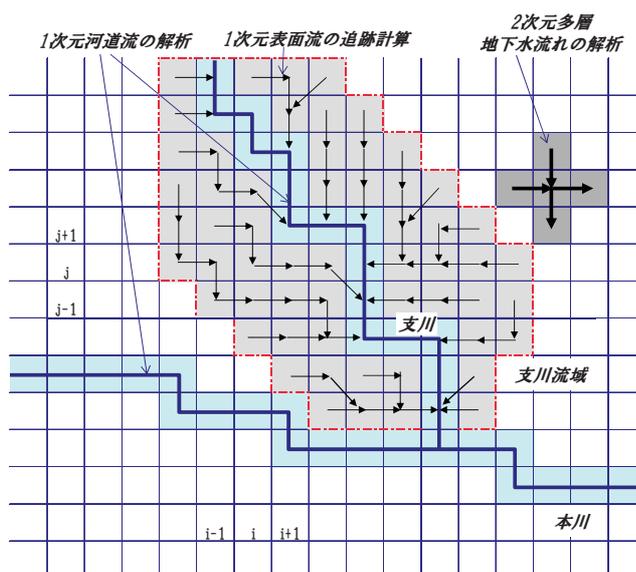


図 3-2 モデルの平面構造

(出典：WEP モデル解説書,土木研究所,水工研究グループ^{文獻3)})

(2) モデル計算条件

流出モデルに設定する地形・地質、土地利用、気象条件、地表流条件、河道条件を表 3-2に示す。

各ダムで構築した流出モデルの計算範囲は、ダム上流域から下流における利水基準点までとし、解析メッシュサイズは 200m とした。

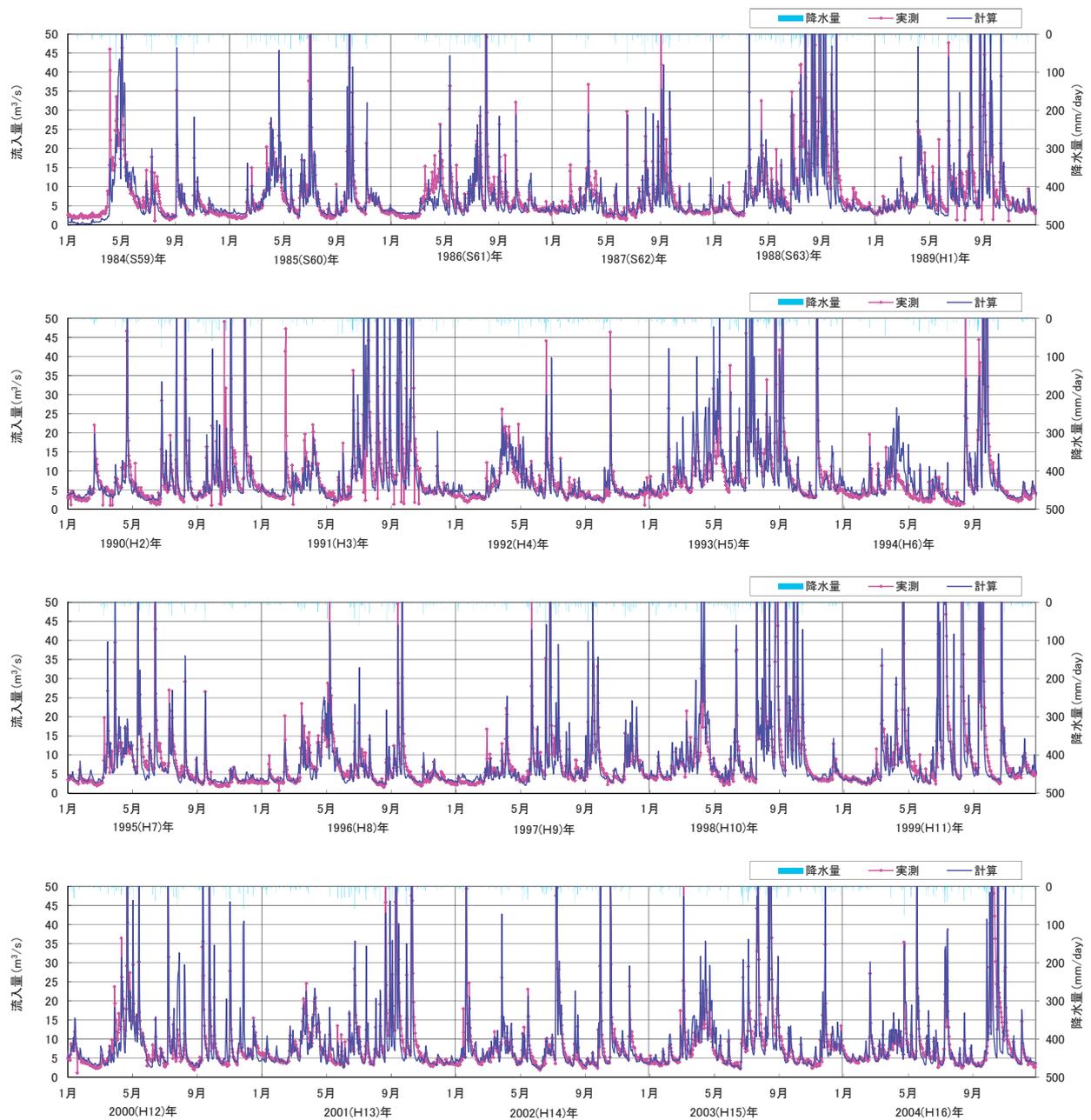
表 3-2 流出モデルに用いる計算条件

項目		内容	出典
地形・地質	計算領域	流域界	国土数値情報、河川管内図
	標高	標高(50m メッシュデータ)から 200m メッシュを作成	国土数値情報
	表層地質	表層地質メッシュ	国土数値情報
土地利用	土地利用面積	100m メッシュ土地利用	国土数値情報
気象条件	降水量	国交省雨量観測所、アメダス観測所の時間降水量	国土交通省、気象庁
	ティーセン分割	観測所位置から作成	国土交通省、気象庁
	気温	気温データ(時間)	気象庁
	ティーセン分割	観測所位置から作成	気象庁
	日射量	全天日射量データ(時間)	気象庁
	時刻データ	日照時間	気象庁
	相対湿度	相対湿度データ(時間)	気象庁
	風速	風速データ(時間)	気象庁
地表流	落水線方向	標高データから作成	作成データ
	傾斜	標高データから作成	作成データ
河道	河床標高	標高データから作成	作成データ
	河川幅	地形図等から設定	作成データ
	河川位置	地形図から河川ラインを設定	国土数値情報、 国土地理院地形図

3.1.2 再現検証計算

モデルの再現検証はダム流入量を対象として実施した。図 3-3～図 3-6にモデル計算値と実績値の流量ハイドロおよび月別平均流量の比較結果を示す。検証期間は気候変動予測モデルにおける現在気候と同様に 1984 年～2004 年とした。

ダム流入量の時系列変化は概ね再現出来ており、さらに、釜房ダムや寒河江ダムといった積雪融雪による流況変化も概ね再現することが出来ていることから、本モデルを用いて気象条件の長期的な変化に伴うダム流域の流出現象を評価することは可能であると考えられる。



月	月平均流量 (m^3/s)	
	実測値	計算値
1	4.2	4.5
2	4.7	4.8
3	7.8	7.4
4	12.9	13.0
5	8.5	8.7
6	7.7	7.4
7	12.3	12.3
8	13.8	13.9
9	14.0	14.0
10	10.3	10.1
11	6.5	6.9
12	5.2	5.6

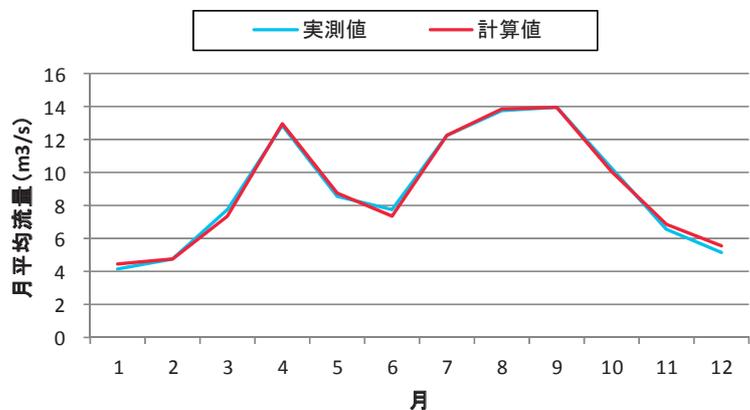
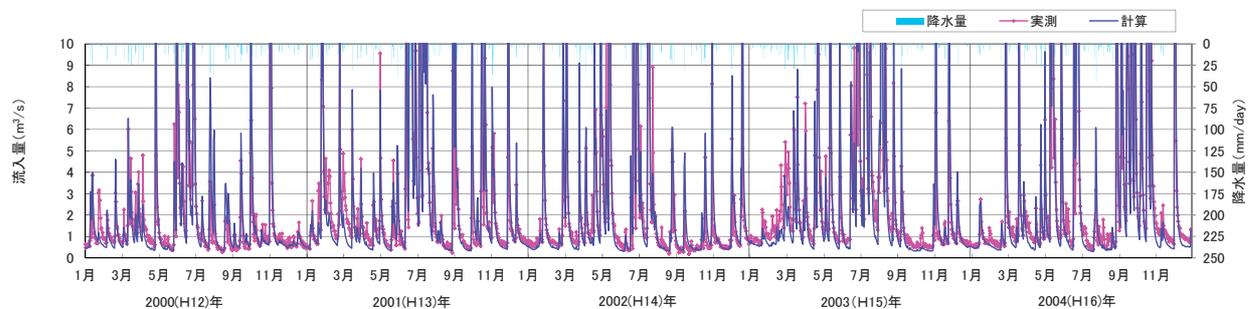
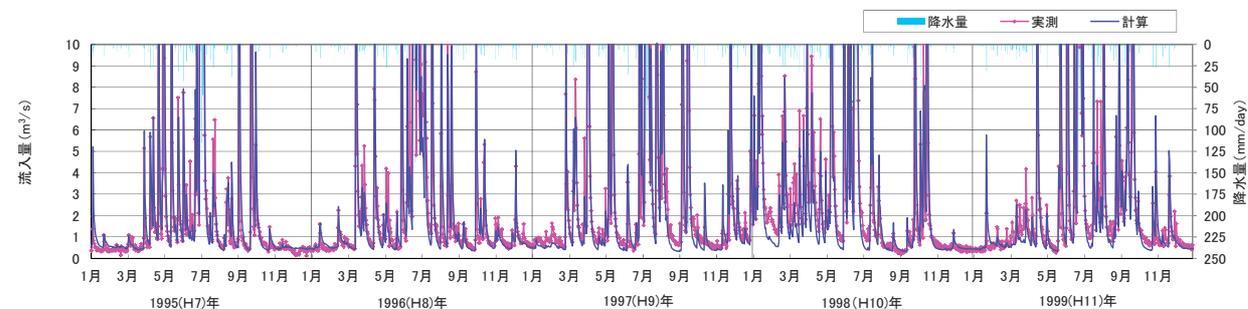
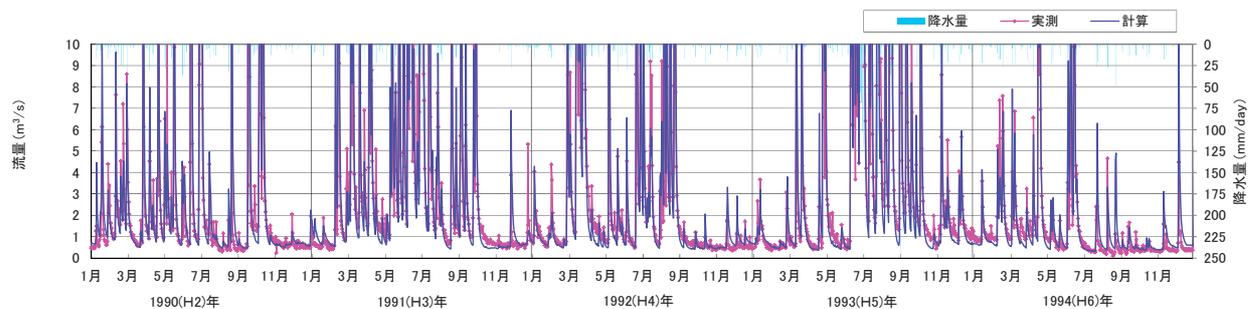
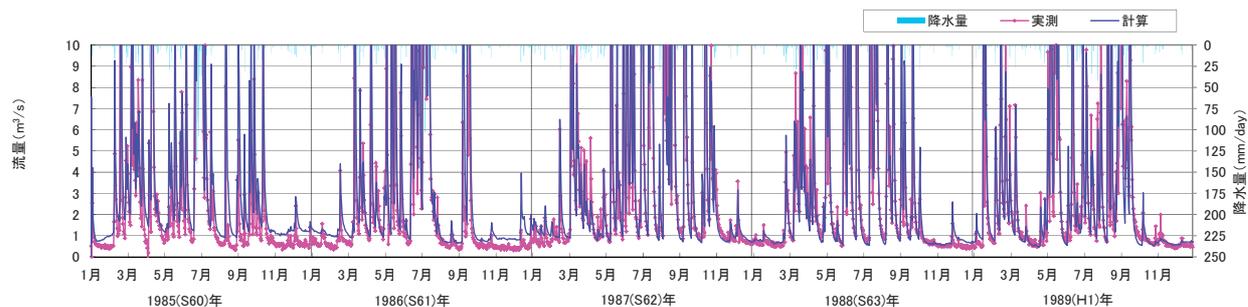


図 3-3 釜房ダム 流出モデルの再現精度



月	月平均流量 (m ³ /s)	
	実測値	計算値
1	1.28	1.45
2	1.65	1.64
3	3.03	2.85
4	2.77	2.60
5	3.92	4.20
6	8.23	8.70
7	7.40	7.78
8	3.43	3.61
9	4.38	5.13
10	2.28	2.50
11	1.14	1.38
12	1.00	1.23

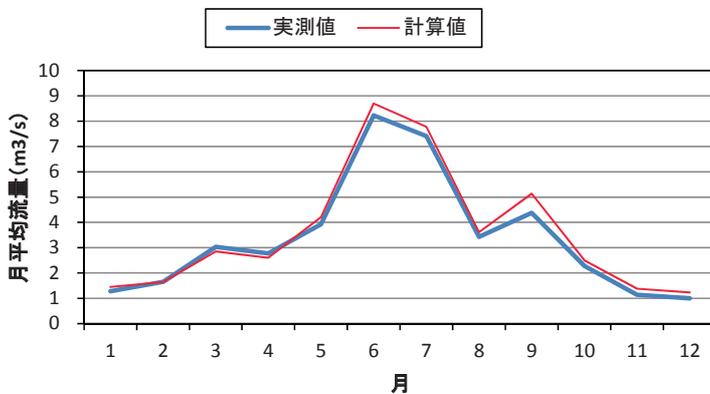
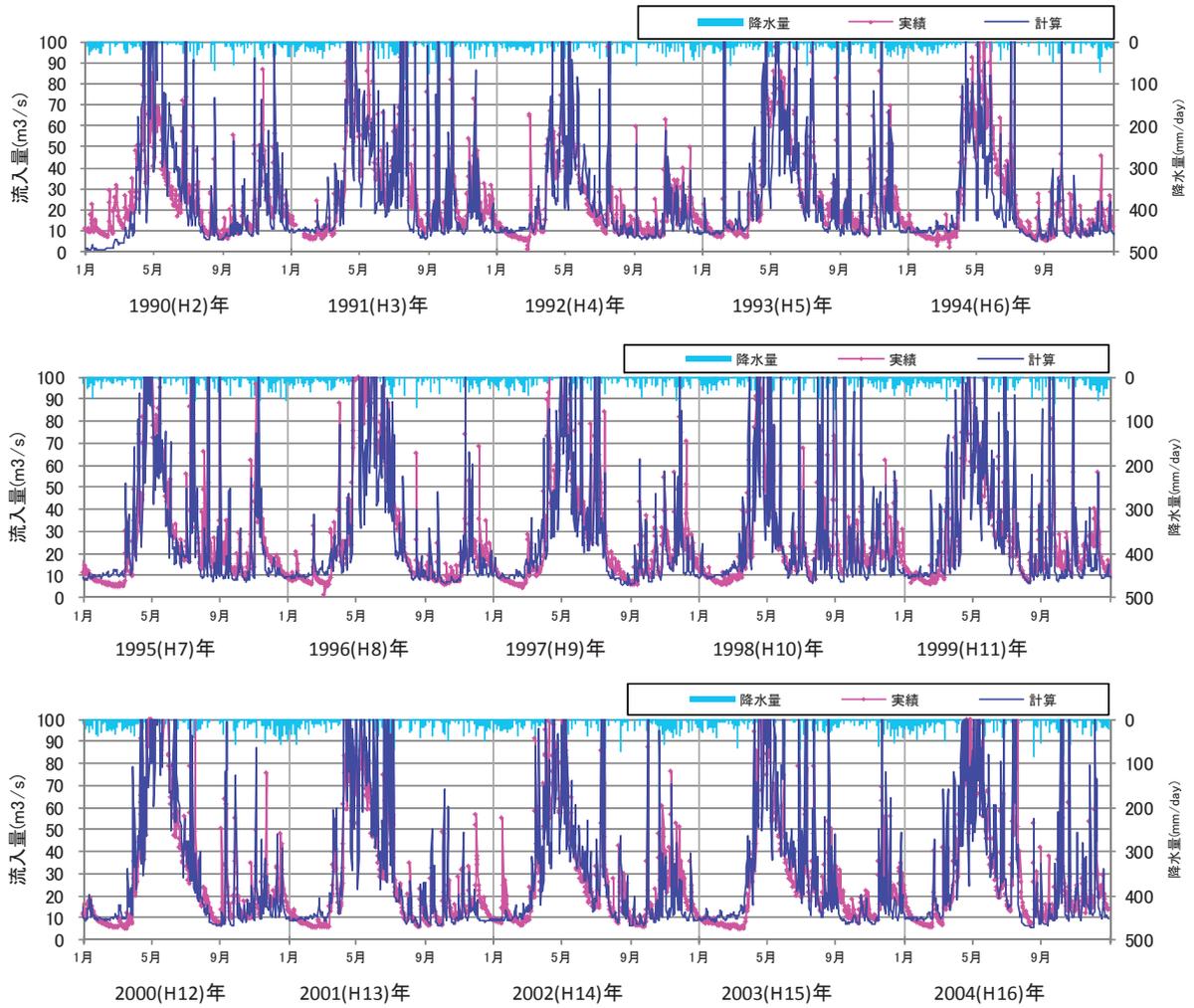


図 3-4 耶馬溪ダム 流出モデルの再現精度



月	実測値 (m ³ /s)	計算値 (m ³ /s)
1	10.66	9.43
2	8.53	11.85
3	15.90	20.83
4	61.31	64.91
5	74.49	68.40
6	38.90	41.69
7	34.36	34.04
8	17.98	17.14
9	17.04	17.49
10	18.41	18.42
11	25.30	22.72
12	21.60	15.26

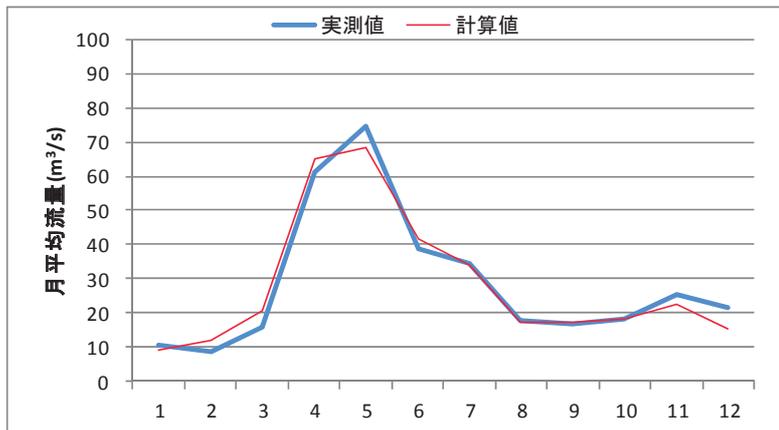
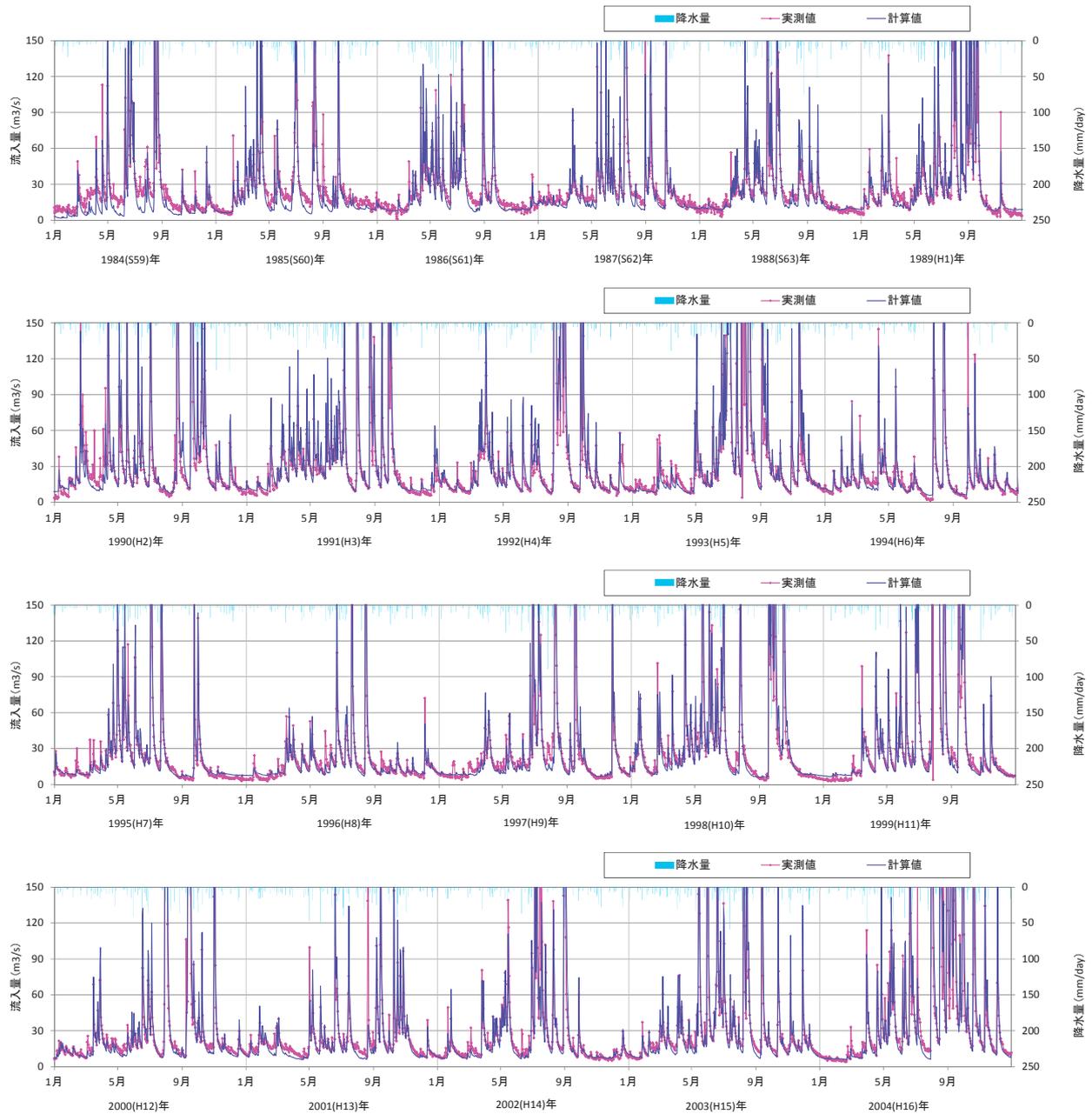


図 3-5 寒河江ダム 流出モデルの再現精度



	月平均流量 (m³/s)	
	実測値	計算値
1月	11.9	12.2
2月	14.9	14.3
3月	24.0	22.0
4月	28.9	29.0
5月	35.0	35.3
6月	43.2	45.6
7月	58.6	58.0
8月	74.5	72.2
9月	65.0	66.9
10月	28.7	31.5
11月	17.0	19.0
12月	12.8	13.3

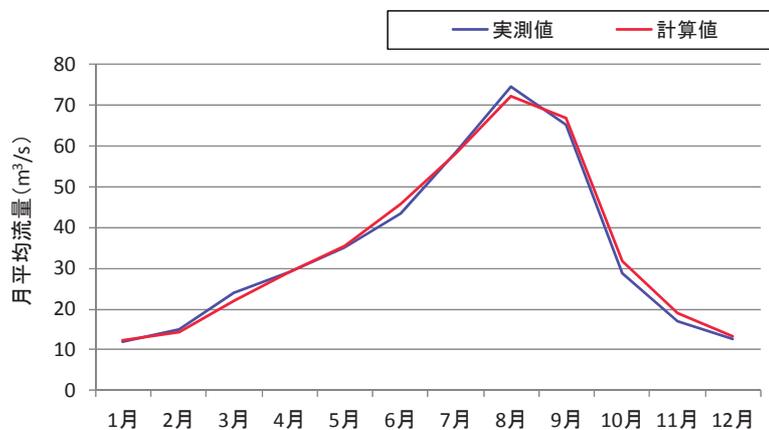


図 3-6 早明浦ダム 流出モデルの再現精度

3.2 利水モデル

3.2.1 モデル概要

利水モデルは日単位を基本とし、ダム直接取水及びダム～利水基準点上流までの取水・還元を考慮したモデルとした。図 3-7 にモデルの概念図を示す。

3.2.2 再現検証計算

モデルの再現検証はダム貯水位を対象として実施した。図 3-8 にモデル計算値と実績値の貯水位の比較結果を示す。検証期間は気候変動予測モデルにおける現在気候と同様に 1984 年～2004 年とした。

実績運用と計算結果にやや乖離がある箇所が見られるものの、各ダムにおける渇水状況等、概ねの流況変化を再現出来ている。

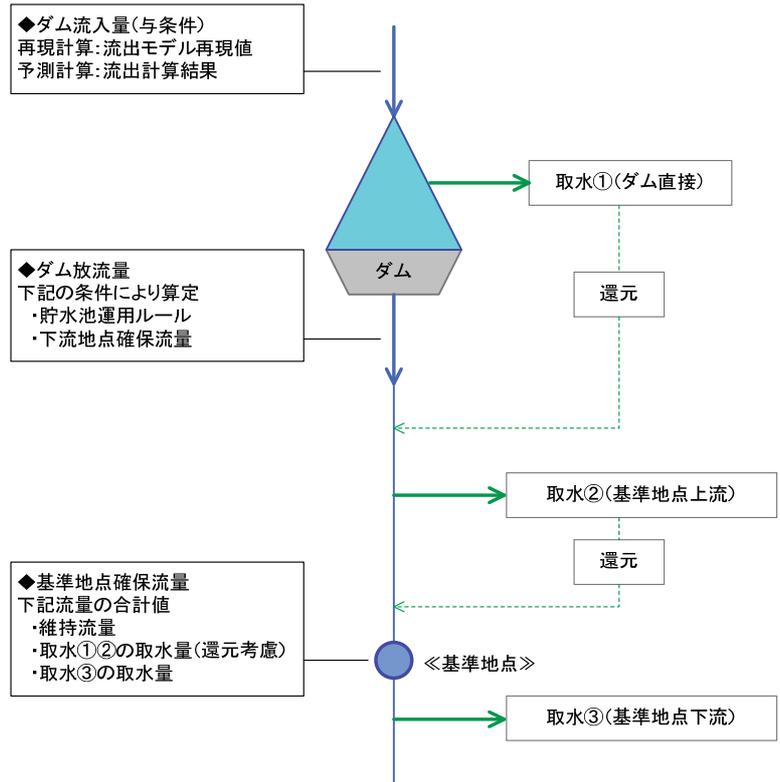


図 3-7 利水モデルの概念図

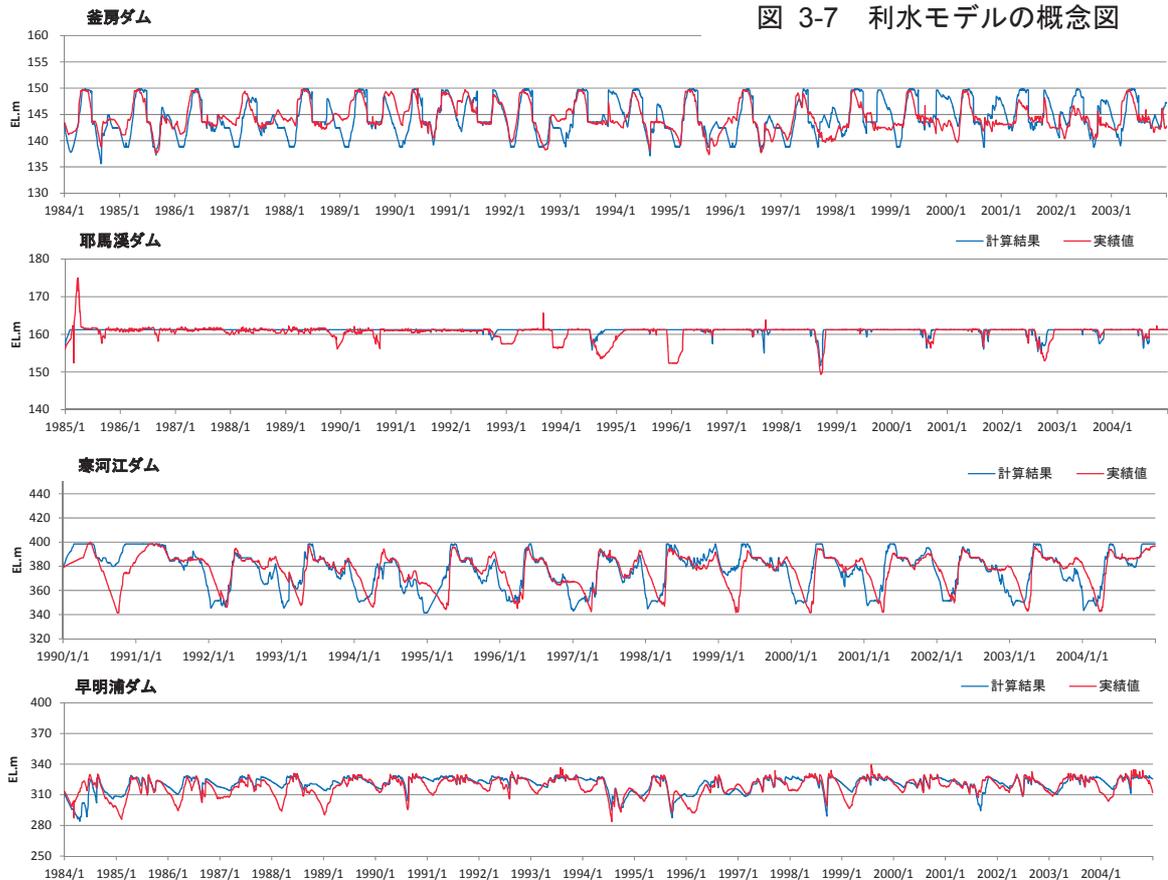


図 3-8 利水モデルによるダム貯水位の再現検証結果

3.3 水質解析モデル

3.3.1 モデル概要

(1) モデル構造

本検討で適用した水質解析モデルには、国内の複数のダム貯水池において、環境影響評価や水質解析への適用実績のある鉛直二次元モデルを用いた。表 3-3に水質解析モデルの概要を示す。

表 3-3 水質解析モデルの概要

項目	設定条件
解析モデル	ダム貯水池鉛直二次元モデル
計算項目	流速, 水温, SS, COD, Chl-a, 無機態リン, 有機態リン, 無機態窒素, 有機態窒素,
乱流モデル	水平方向：リチャードソン 4/3 乗則 鉛直方向：密度成層の安定性が乱れに及ぼす影響をリチャードソン数(Ri)の関数で考慮
熱収支	短波放射(Beer 式)、長波放射(Stefan-Boltzman 式)。 潜熱輸送(Rohwer 式)、顕熱輸送(Swinbank 式)
水収支	河川流入, 放流 蒸発散によるロス：潜熱輸送量/蒸発潜熱 で算定。
底泥面での物質交換	河床直上メッシュの水温により底質境界面における生成・消滅速度が変化する式を設定。 生成：栄養塩, COD の溶出 消滅：DO 消費
曝気循環モデル	施設の散気量や貯水池成層状況に応じた連行速度、曝気循環流を物理的に計算できるダブルブルームモデル（浅枝, Imburger）

水質解析において考慮した生態系モデルは、各水質項目（ダム貯水池・放流水・取水の窒素、リン、COD、クロロフィル a、水温、SS 等）について、ダム貯水池における流入、放流、取水、蒸発散、一次生産、無機化分解、熱収支、酸素消費、沈降等のプロセスを表現可能なものとした。

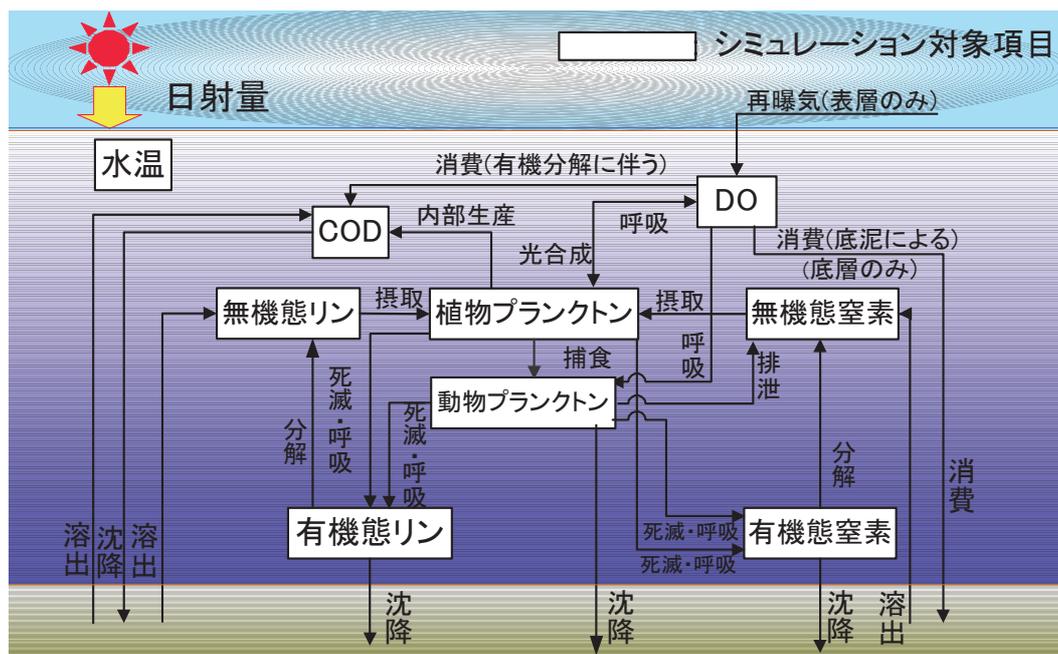


図 3-9 水質解析における生態系モデル（概念図）

(2) 曝気循環モデル

本検討で扱う曝気循環モデルは浅枝・Imberger^{文献4)}によるものであり、図 3-10に示すような、中央の上昇プルームの部分と周囲の下降プルームの部分による二重円筒構造をもつプルームモデル (Double Plume Model) を採用している。

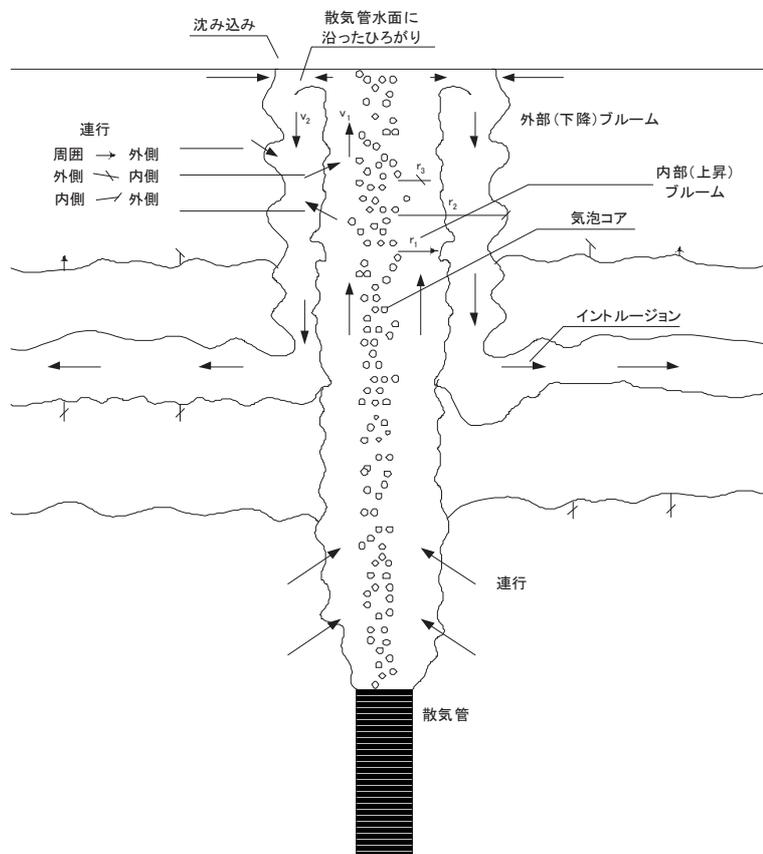


図 3-10 曝気循環による流動イメージ

(3) モデル計算条件

水質解析モデルに設定する貯水池形状、気象条件、流量条件等を表 3-4に示す。検証計算条件は可能な範囲で実績値に基づいて設定している。

表 3-4 計算条件

項目	内容
計算期間	気候変動予測モデルにおける現在気候と同様に 1984 年～2004 年とした。(ただし、ダム竣工前の期間は除く)
貯水池形状	測量結果に基づき、縦断方向 200m ピッチ、水深方向 1m ピッチ程度で作成し、H-V 曲線との整合を図る。
流入量	実績の日流入量を与える。 複数の支川がある貯水池では総流入量を各支川の流域面積で配分。
放流量	実績の日放流量を放流口別を与える。
気象条件	ダム地点の観測値あるいは近傍気象観測所の観測値を与える。
流入水温	気温や日流入量との関係式により設定。
流入水質	定期および洪水時水質調査結果に基づき、L-Q 式により設定。
流入濁質の粒度分布	基本的に実績の粒度分析結果に基づき設定。
選択取水の取水位置	基本的に実績に基づいて設定。
水質保全施設の運転状況	基本的に実績に基づいて設定。

3.3.2 再現検証計算

モデルの再現検証として、水温及び DO の鉛直分布、各水質の時系列変化から再現性の確認を行った。

図 3-11～図 3-18にモデル計算値と実績値の比較結果を示す。検証期間は気候変動予測モデルにおける現在気候と同様に 1984 年～2004 年（S59 年～H16 年）とした（ただし、ダム竣工前の期間は除く）。

水温成層の形成状況や底層 DO の消長等の季節変化、藻類増殖時の Chl-a の上昇や洪水による SS 上昇等のイベント的な水質変化など、各貯水池内で生じる水質変化現象の特性を概ね再現出来ており、本モデルを用いて、気候変動に伴う気象・流量条件の変化に伴う貯水池内の水質変化傾向を評価することは可能であると考えられる。

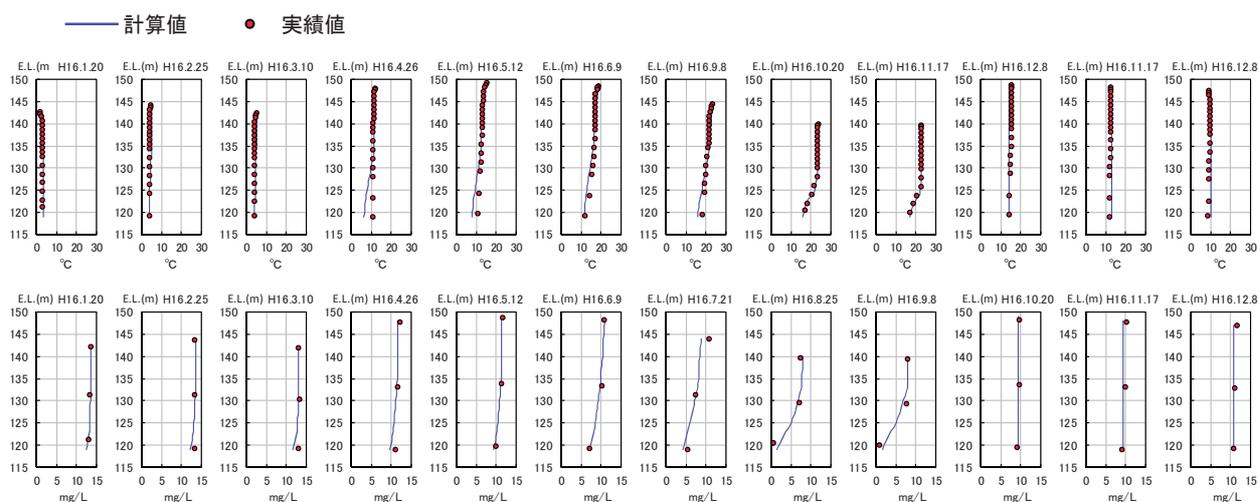


図 3-11 釜房ダムにおける鉛直分布の検証結果（上段：水温、下段：DO）

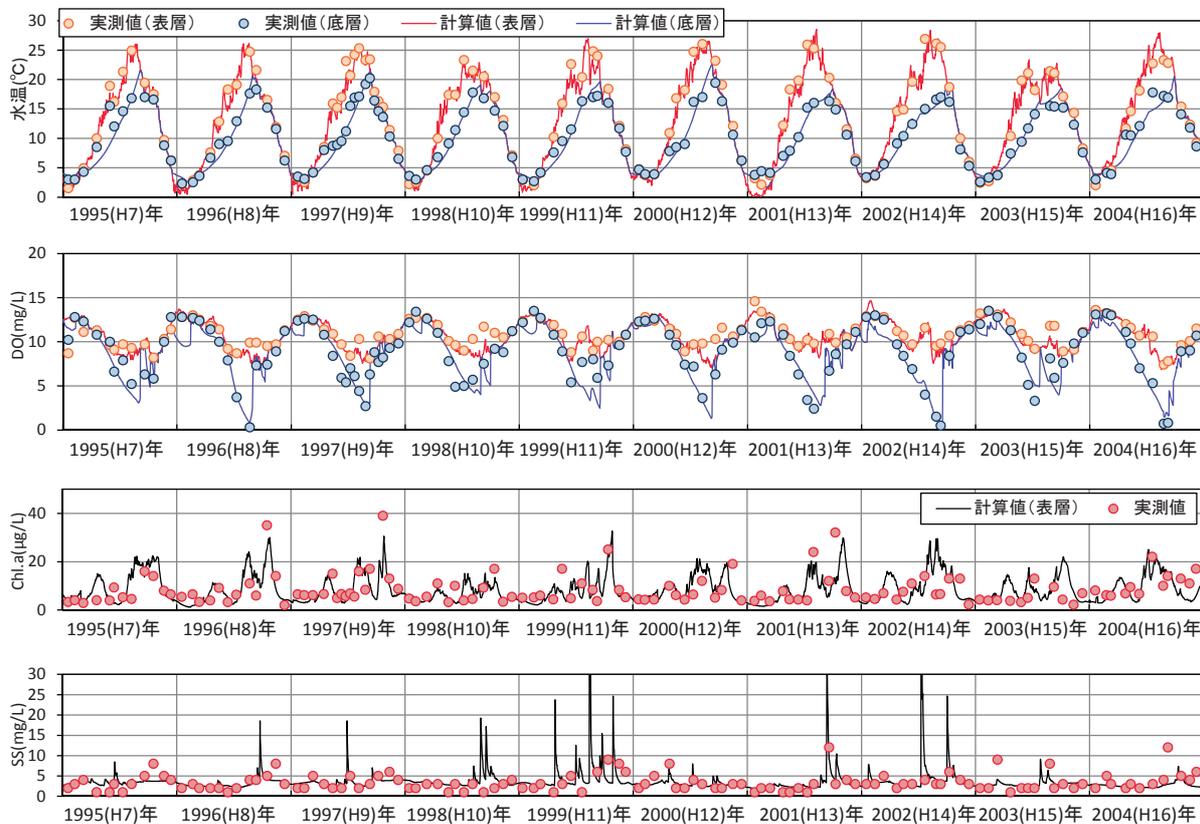


図 3-12 釜房ダムの水質時系列変化の検証結果（上から、水温、DO、Chl-a、SS）

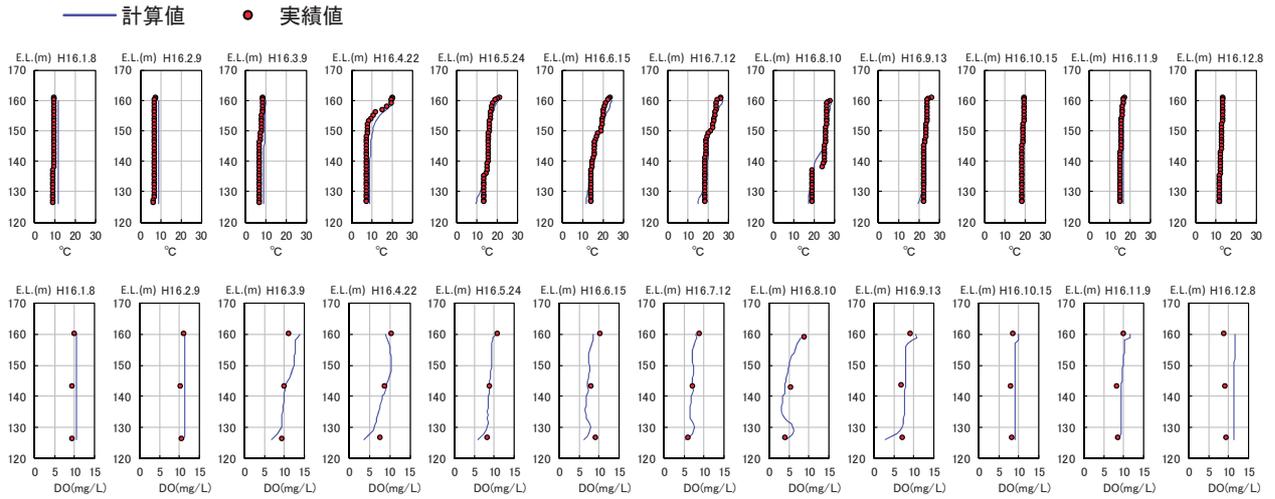


図 3-13 耶馬溪ダムにおける鉛直分布の検証結果（上段：水温、下段：DO）

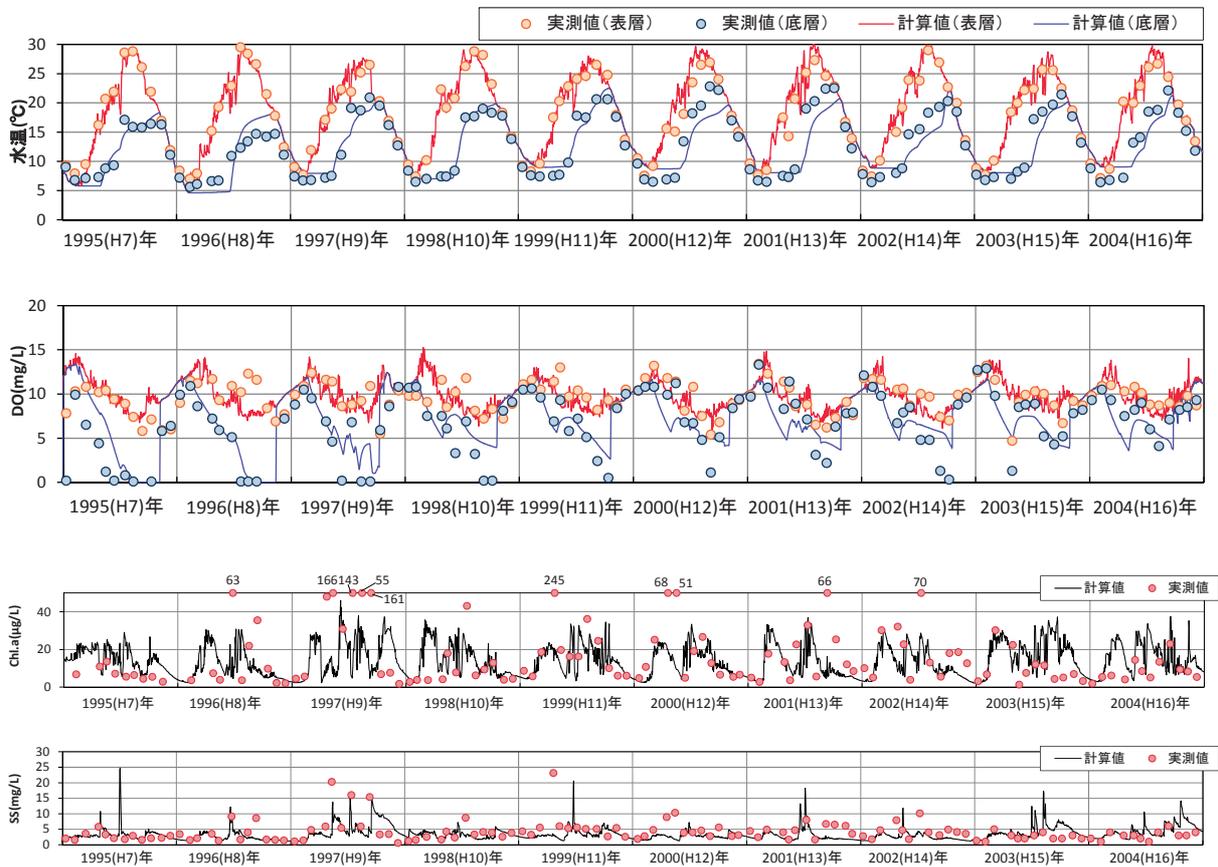


図 3-14 耶馬溪ダムの水質時系列変化の検証結果（上から、水温、DO、Chl-a、SS）

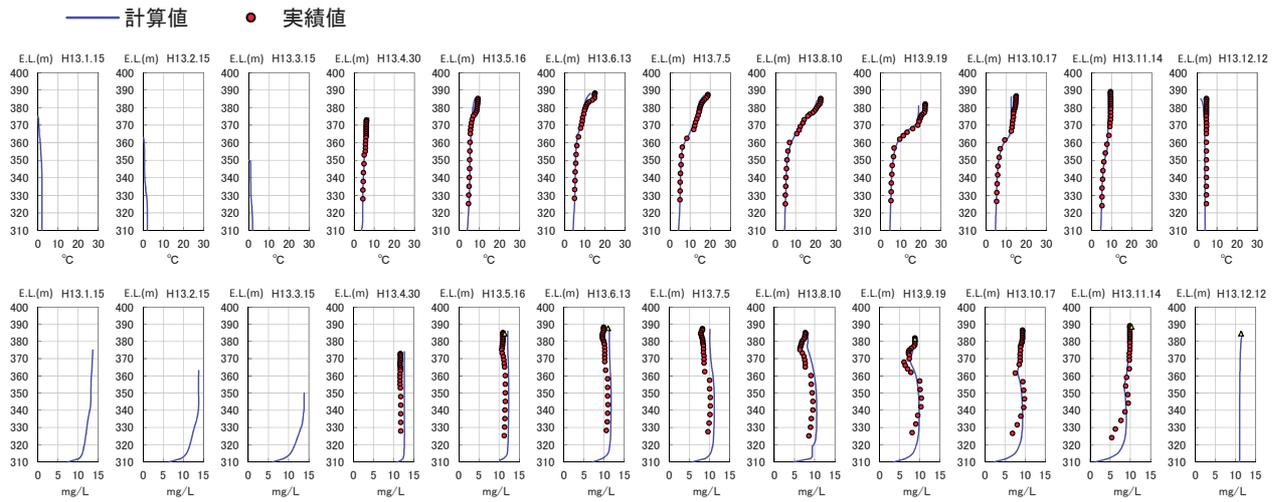


図 3-15 寒河江ダムにおける鉛直分布の検証結果（上段：水温、下段：DO）

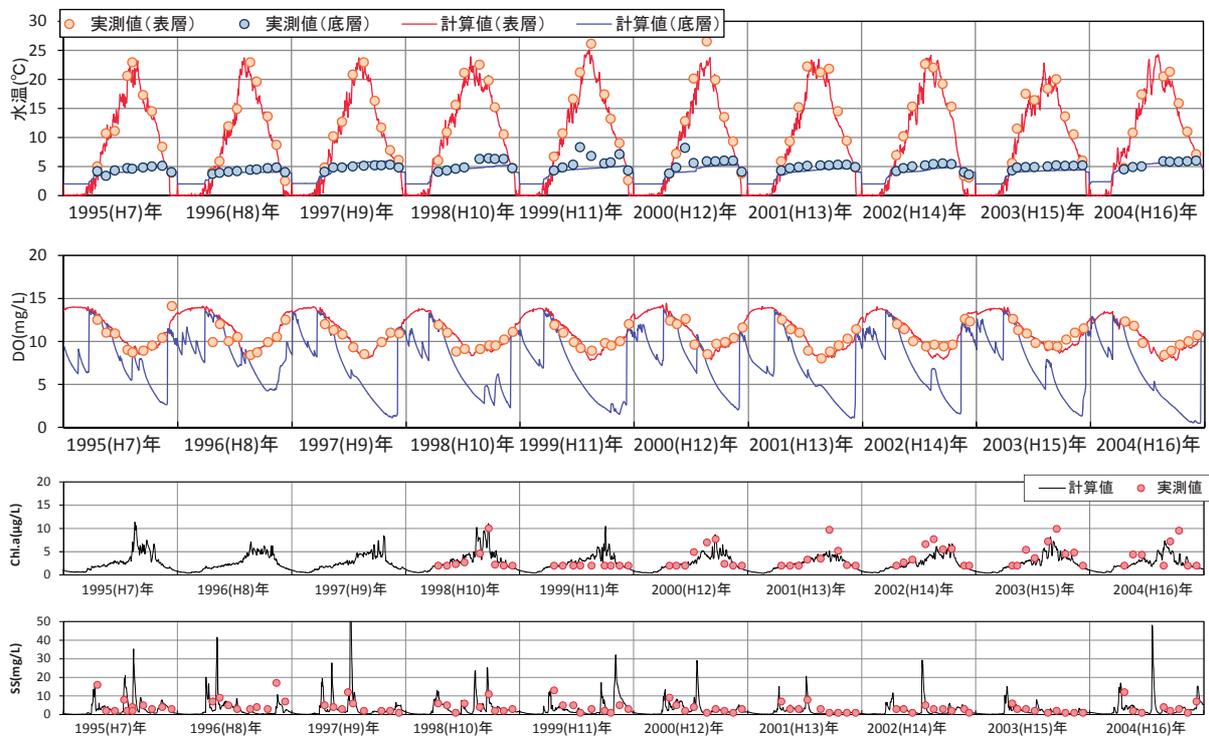


図 3-16 寒河江ダムの水質時系列変化の検証結果（上から、水温、DO、Chl-a、SS）

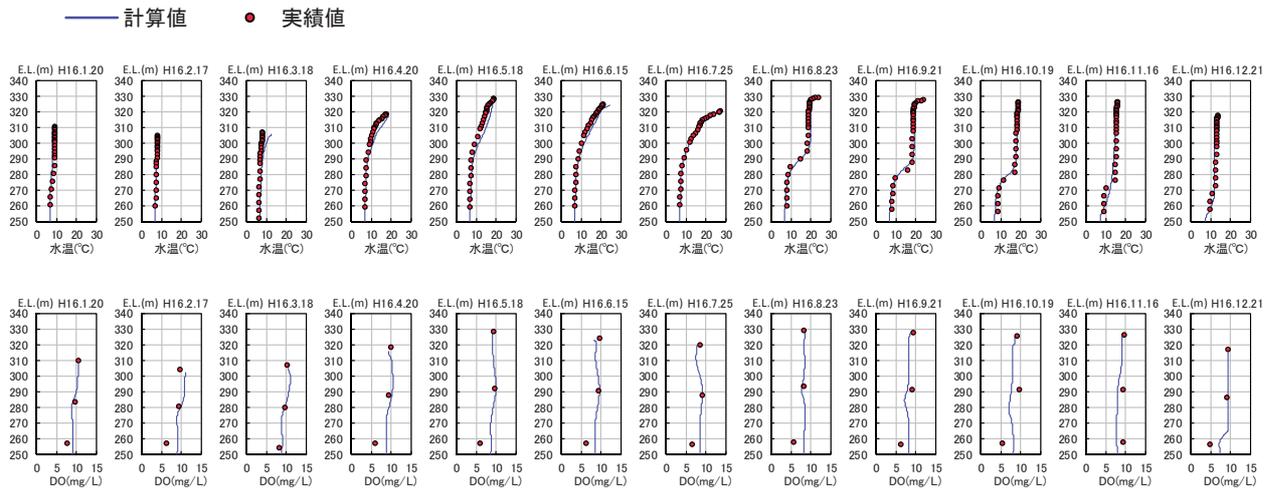


図 3-17 早明浦ダムにおける鉛直分布の検証結果（上段：水温、下段：DO）

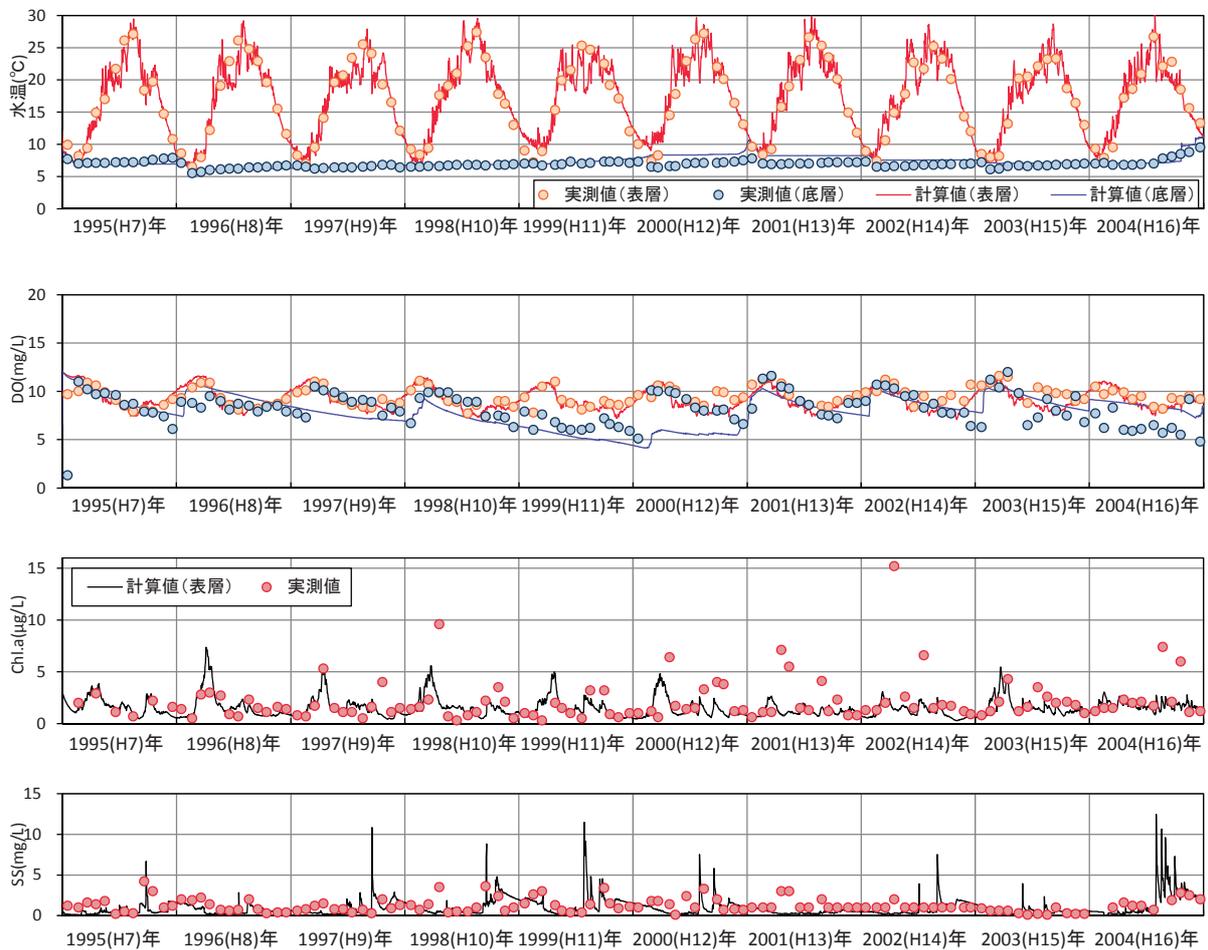


図 3-18 早明浦ダムの水質時系列変化の検証結果（上から、水温、DO、Chl-a、SS）