

### 3. 水管理への影響に着目した検討

#### 3-1 気候変動が世界の水需給バランスにあたる影響の検討

##### a) 検討概要

将来の世界における水資源量変化と社会的影響を分析することを目的に、既往統計データを活用したマクロ的な解析を行うべく、水需給モデルを構築し、2050年における水資源需給バランス及び食料需給量について試算を行った。

##### b) 水需給量算定モデル（プロトタイプ）の構築

1990年における水資源需給及び2050年における水資源需給予測の算定フローの概要を図-Ⅱ. 3. 1. 1 に示す。入力値として必要な世界184カ国の統計データ（人口、GDP、水使用量、穀物生産量等）は気候変動に関する研究機関や統計機関等が公表しているものを採用し、水資源量は、世界各国の1990年（モデル上の現状再現）と2050年のデータを活用した。各検討項目の2050年の将来予測は、図-Ⅱ. 3. 1. 2に示すような1990年を基にして求めた世界各国のGDPと各検討項目との相関性を利用して算出した。また、将来の気候変動は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）で公表されている温室効果ガス排出シナリオA1Bを採用している。

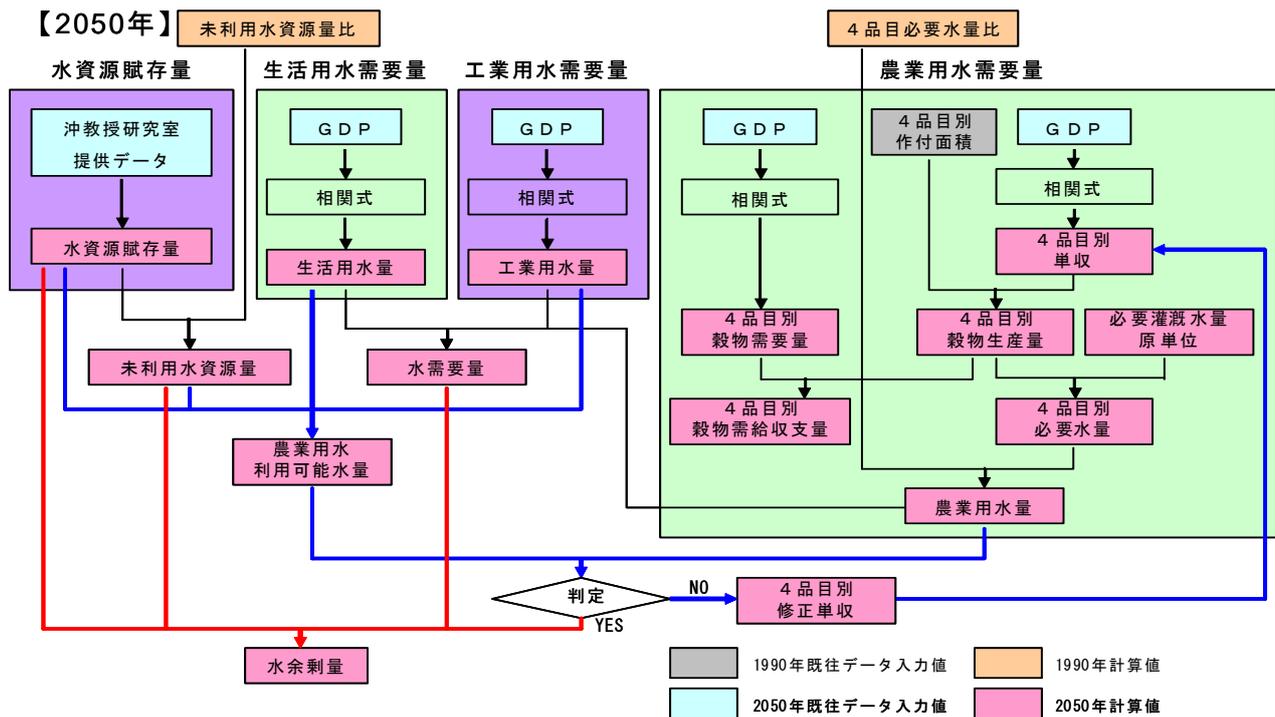


図-Ⅱ. 3. 1. 1 算定モデルの概要（フロー）

c) プロトタイプの計算結果

計算の結果得られた水資源需要量と主要 4 品目穀物の需要量及び生産量の世界全体値について図- II . 3. 1. 3 に示す。なお、プロトタイプでの計算は 1990 年及び 2050 年の単年において計算を行った。水資源賦存量は 2050 年に向けて微増なのに対し、水資源需要量は大幅に増加していることが分かる。このため、主要穀物の生産量も需要量に対して 50%程度と大幅に不足する結果となった。この不足量の内、食料用の不足は、カロリー換算（世界平均 2,026.8kcal/日（1990年））で約 15 億人分の 1 年間の消費に相当する。また、農業用水の充足率（農業用水利用可能水量 / 農業用水需要量）=水ストレスとして算出した 2050 年の主要国及び地域の水ストレス分布状況を図- II . 3. 1. 4 に示す。乾燥地帯においては農業用水需要量に対して利用可能水量が少なく厳しい状況がわかる。中国、オーストラリアの充足率が比較的高い理由は、この年における降水量が多く、水資源賦存量が多くなるという予測の影響が大きいものと考えられる。

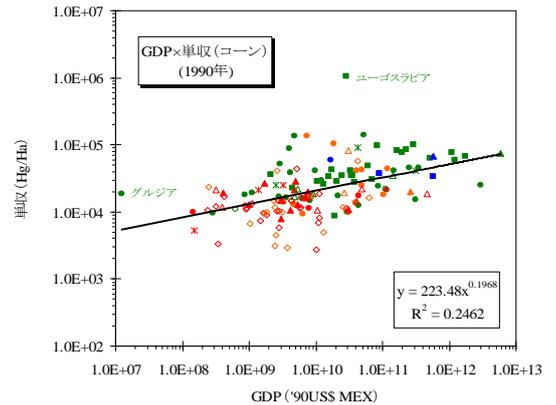


図- II . 3. 1. 2 GDP と単収との相関の例 (コーン)

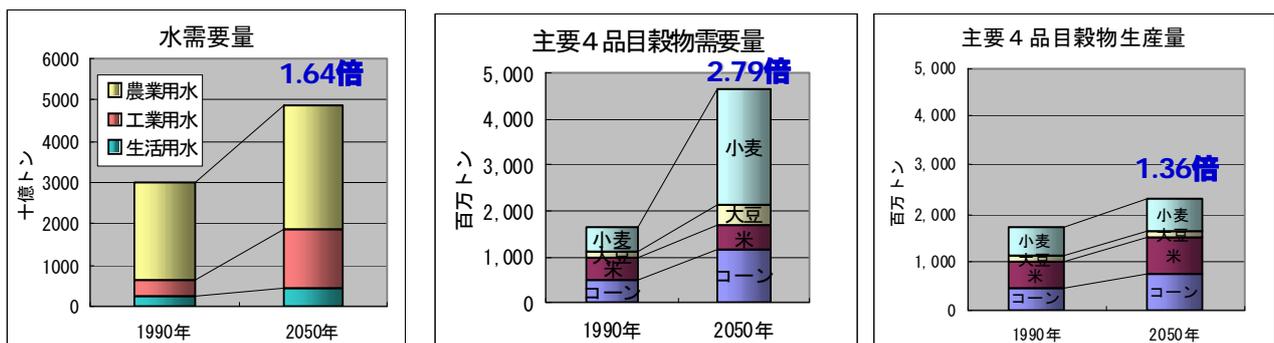


図- II . 3. 1. 3 算定モデル(プロトタイプ)による予測計算結果(1990年と2050年の世界全体値)

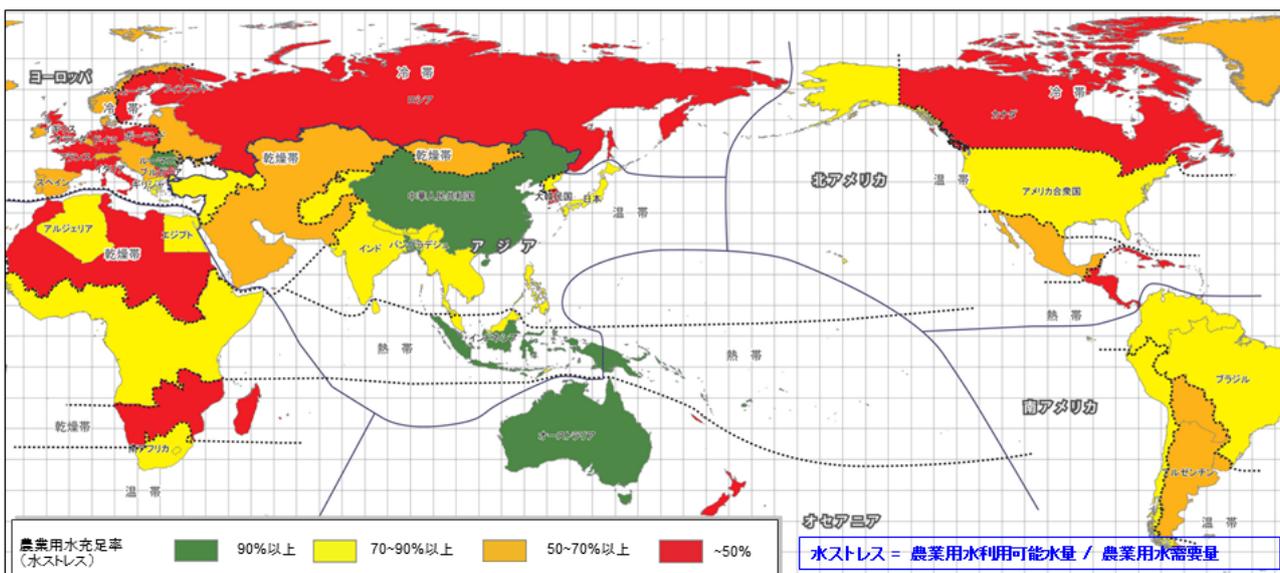


図- II . 3. 1. 4 水ストレス分布図(2050年)

#### d) 水需給量算定モデルの改良

図-Ⅱ.3.1.1に示したモデルを更に改良すべく、世界農産物需給予測モデルを活用した穀物価格の変動予測による作付面積の変化、穀物貯蔵量、GDP相関式の地域別細分化などを行い、設定した各需要間水配分シナリオ、水利用施策シナリオそれぞれについて2050年までの連続計算を試みた。

#### e) 算定結果と成果の活用

モデルによる算定結果について既存施設依存型（基本0）のほか、水需給のギャップを埋める対応策として、ダム建設等のハード対策（基本0a）、渇水調整等のソフト対策（基本0b）、ハード対策+ソフト対策+施設間の統合的な運用等による水利用向上策を実施した場合（基本1）のシナリオを設定して評価を行った。その一例として図-Ⅱ.3.1.5に米の需要量、生産量と農業用水の充足率の関係を示す。世界人口の増加や経済発展の影響により、米の需要量は2050年まで増加する傾向にある反面、生産に必要な農業用水の充足率が必要な水量に対して低くなることから、結果として生産量が低迷する状況となっていることがわかる。このほか、世界各国の水利用可能量、生活・工業用水需要量、穀物需要量、農業用水需要量、穀物生産量について主要国及び地域毎の傾向が明らかとなった。

今後は、我が国及び食料輸出入相手国等の水需給及び各種穀物需給量について更なる信頼性の確認を行い、我が国の将来の水資源及び食料の安全保障の観点から、潜在的危険性の把握と対策の考案、我が国が世界各国に対して果たすべき貢献策の検討等に活用することが期待できる。

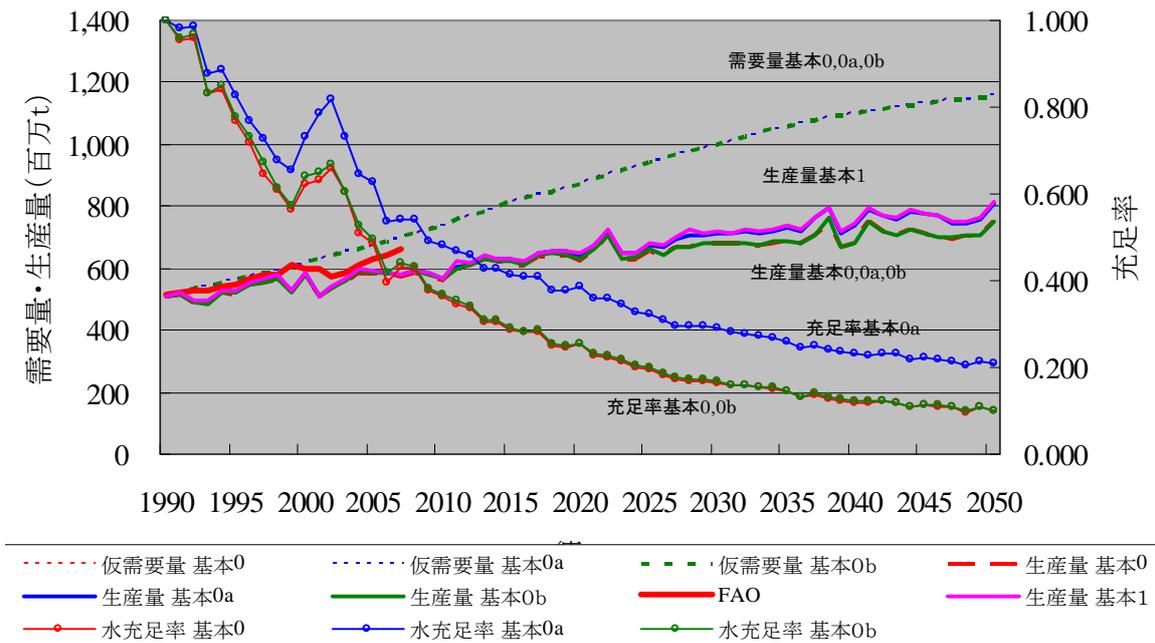


図-Ⅱ.3.1.5 需要量、生産量と農業用水充足率の関係（米）

### 3-2 地表到達水量に及ぼす気候変動影響の全国的傾向の分析

将来の渇水リスクを評価するために、共生 GCM20 による 1979～1998 年及び 2080～2099 年の出力値から、降水量及び融雪量を算出し、一級河川 109 水系の流域について、現在と将来の地表到達水量の比較から変化傾向の評価を行った。

降水量は、気候予測計算結果の年降水量、季節降水量、月降水量の全国 109 水系の流域平均値について、将来の変化率を全国 109 水系の流域別に整理した。

融雪量については、推定した積雪量から利根川統合管理事務所で実績のある融雪量推定式を用いて算出した（図-Ⅱ.3.2.1）。

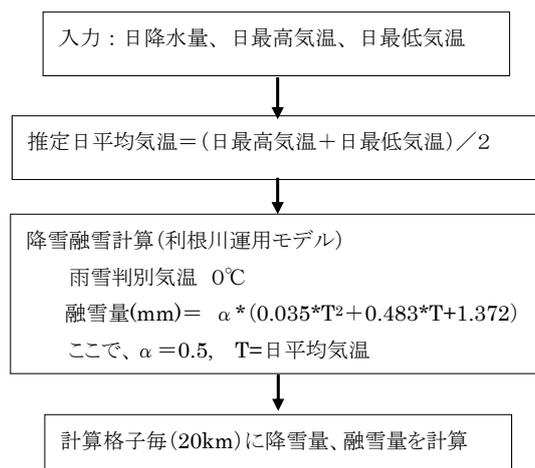


図-Ⅱ.3.2.1 降雪量、融雪量の算定フロー

河川流量に影響を及ぼす、融雪量と降雨量を加算した地表到達水量について、現在と100年後をシミュレーションにより比較すると、全国的な傾向として、11～2月、7～8月の間は増加し、3～6月、9～10月の間は、多くの地域で減少が見られ、現在の降水パターンが大幅に変化する恐れがある（図-Ⅱ.3.2.2）。

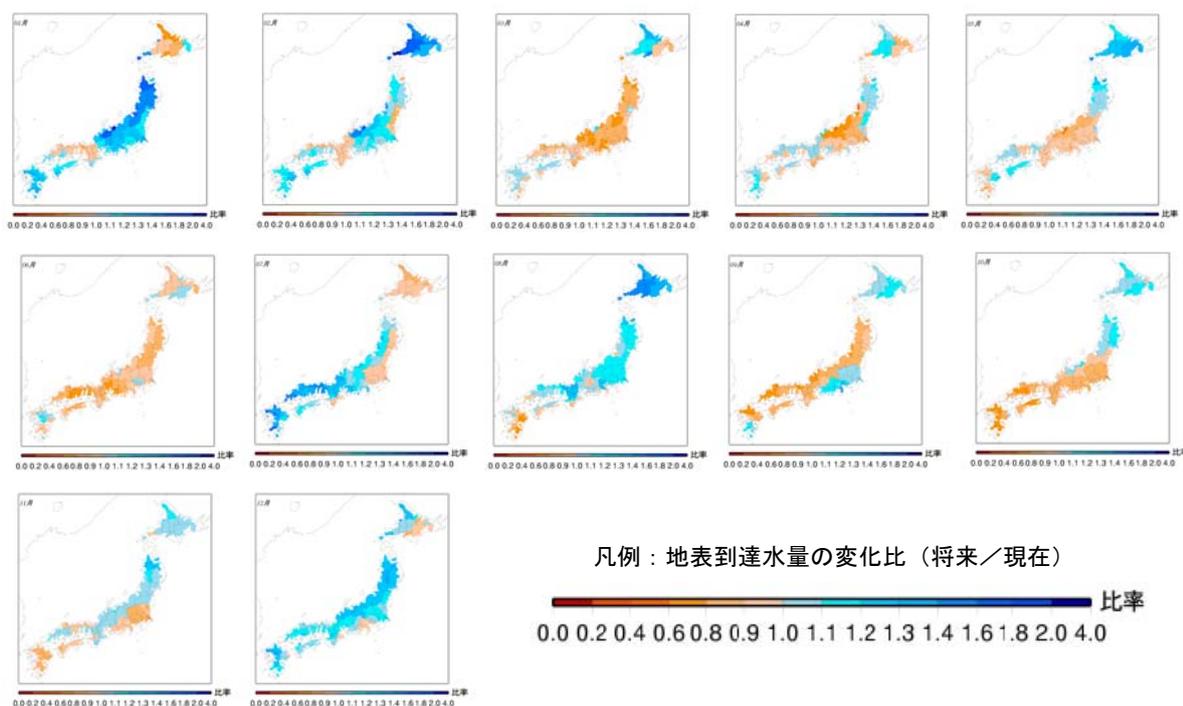


図-Ⅱ. 3. 2. 2 年降水量の地表到達水量(融雪+雨量)の変化

### 3-3 降水量変化が河川流量に与える影響の簡易推定法

IPCC 第4次評価報告書によると、今後、無降雨日数の増加、積雪量の減少、融雪時期の早期化などの気候変動の影響は不可避であり、高まる渇水リスクへの適応策が必要不可欠であることが報告されている。個別流域での具体的な適応策の検討に先だて、まず全国的に流域ごとに渇水リスクを評価する必要がある。それには、気候変動の影響を考慮して現状から変化させた降水量および気温を入力として流量を推定するために、流出モデルを用いる。その際、各流域の流出特性の差異が流量の推定に適切に反映されるように、既往の観測データに基づいて客観的にモデル係数が設定できることが望まれる。

本研究では、渇水が数ヶ月以上に及ぶ現象であることを考慮して、月単位の流出計算法として、降水量、流量、気温の実測データの相関関係を用いた流出モデルを提案した。さらに、積雪・融雪の有無で異なる2流域において気候変動に伴う流量変化を試算し、降水量の変化率(=(将来値)/(現在値))の大きさと同等の流量変化が生じない理由について、提案したモデルで表現される流出特性に基づいて考察した結果を示す。

積雪・融雪地域に位置する K ダム流域における月平均の降水量とダム流入比流量の関係を図-Ⅱ. 3. 3. 1 に示す。融雪期(3~5月)を除いて、図中に実線で示したように線形近似することが可能である。日平均気温 0°C以上の積算気温と融雪比流量(=(実測比流量)-(図-Ⅱ. 3. 3. 1)-1の実線から算定した比流量))の関係を図-Ⅱ. 3. 3. 2 に示す。積算気温は融雪比流量とほぼ線形関係にあることがわかる。図-Ⅱ. 3. 3. 1、2 に示した関係式を用いて K ダム流入量の再現計算を行った結果を図-Ⅱ. 3. 3. 3 に示す。簡易なモデルであるが、十分に低水流量を再現することが可能である。

将来の気温と降水量の変化を考慮した K ダム流域の月別平均比流量と現在との比較を図-Ⅱ. 3. 3. 4 に示す。積雪期(12月~2月)は気温上昇により降雪が降雨に変わるため流量が増加する反面、融雪期

(3月～5月)は積雪量の減少及び融雪の早期化のため流量が減少する傾向となった。降水量と流量の変化率を比較すると、積雪期の降水量はほぼ変わらないが、流量は大幅に増加している。また、融雪期の前半の3月は気温上昇に伴う融雪の早期化のため降水量が1割程度減少するにも係わらず流量は大きく増加している。それに対して、後半の4、5月は降水量の減少以上に流量は減少している。積雪・融雪期以外では、降水量変化と流量変化はほぼ同値である。

降雪がない水系のA流量観測点上流域を対象として流域を3分割し、降雨-流量関係を求め、A流量観測地点の将来の月別平均流量を推定し、現在と比較した結果を図-Ⅱ.3.3.5に示す。3～9月までの比較的流量が多い時期は、降水量変化率とほぼ同値の流量変化率を示した。10～2月の流量が少ない時期では、降水量の変化率に比べて流量の変化率が1に近い値、すなわち変化幅が小さくなる傾向が見られた。

積雪・融雪地域では、降水量の増減のみならず、気温上昇による積雪量の減少、融雪期の早期化の影響を受け、積雪期から融雪期の河川流量が大きく変化する。そのため、気温と積雪、融雪の応答関係を踏まえなければ、気候変動による流量変化を評価する事は難しく、気温に対する融雪の応答を把握し、適切な融雪計算をする事が重要となる。また、非積雪地域では、降水量が少ない部分と多い部分とで降雨-流量関係の勾配が異なるため、同じ降水量変化に対しても降水量が少ない範囲では流量の変化は小さくなる。つまり非出水期(10～5月)は出水期(6～9月)と比較して、降雨量の変化に対して流量は安定しており、気候変動の影響が現れにくい事を示している。以上より、積算気温-流量関係及び降雨-流量関係を整理する事が気候変動による河川流量の変化を推定する上で重要であると言える。今後は、全国の流域に対してこの関係を整理し、気候変動によって湧水リスクが高まる地域を明らかにする。

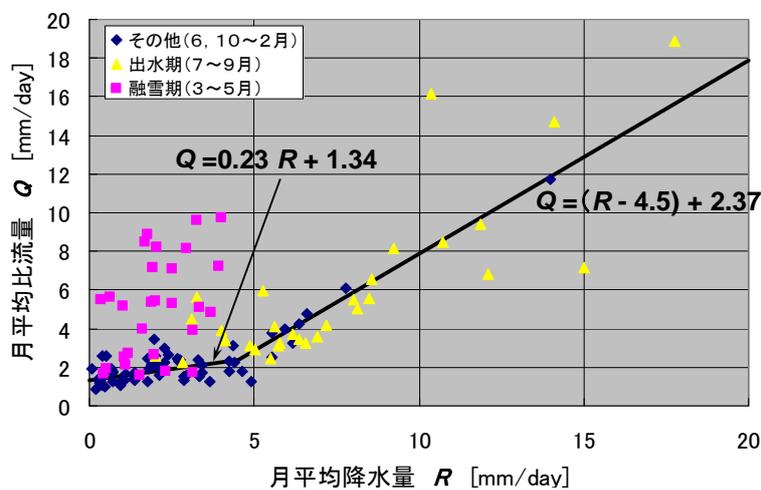


図-Ⅱ.3.3.1 Kダム流域の降水量と比流量の関係

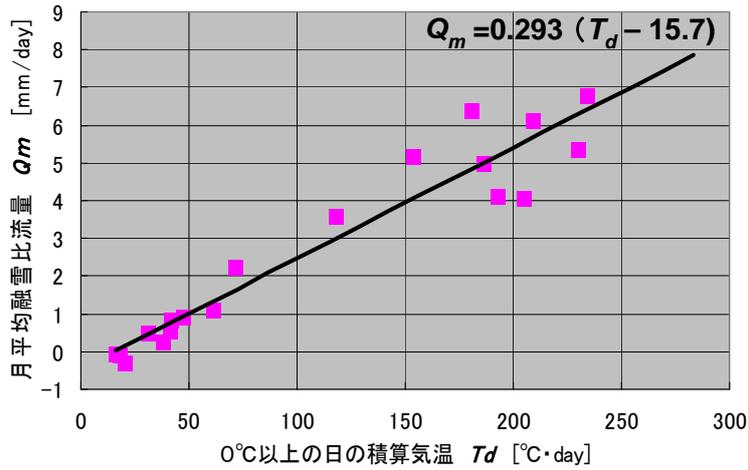


図-Ⅱ. 3. 3. 2 Kダム流域の積算気温と融雪比流量の関係

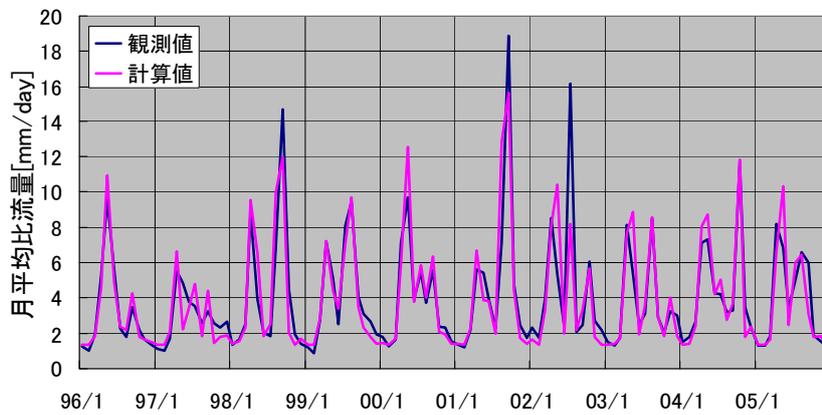


図-Ⅱ. 3. 3. 3 1996～2005年の月平均比流量の再現計算結果 (Kダム流域)

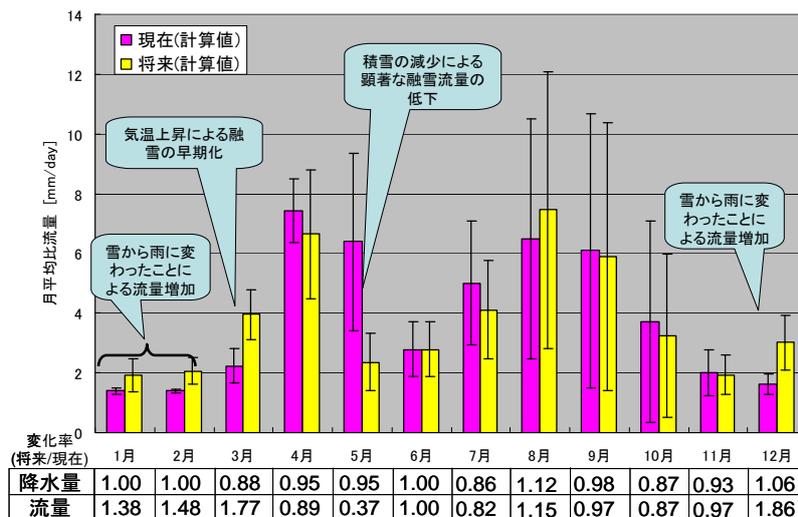


図-Ⅱ. 3. 3. 4 現在と将来の月別平均比流量の比較 (Kダム流域)

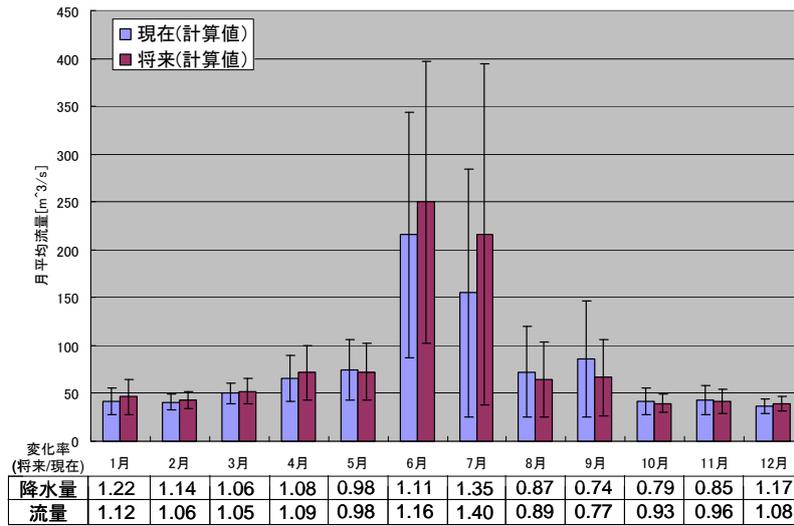


図-Ⅱ.3.3.5 現在と将来の月別平均比流量の比較 (A 流量観測点：ダム操作なし)

### 3-4 渇水時における低水管理の高度化手法の開発

渇水時において河川環境と整合しつつ円滑な水利用を行うためには、緻密な流水管理を行う必要がある。このため、筑後川をモデル水系として、流域の水循環を解明する低水管理シミュレータの構築及び、将来の渇水時において渇水対策を可能とする水需給把握システムの構築を検討した。

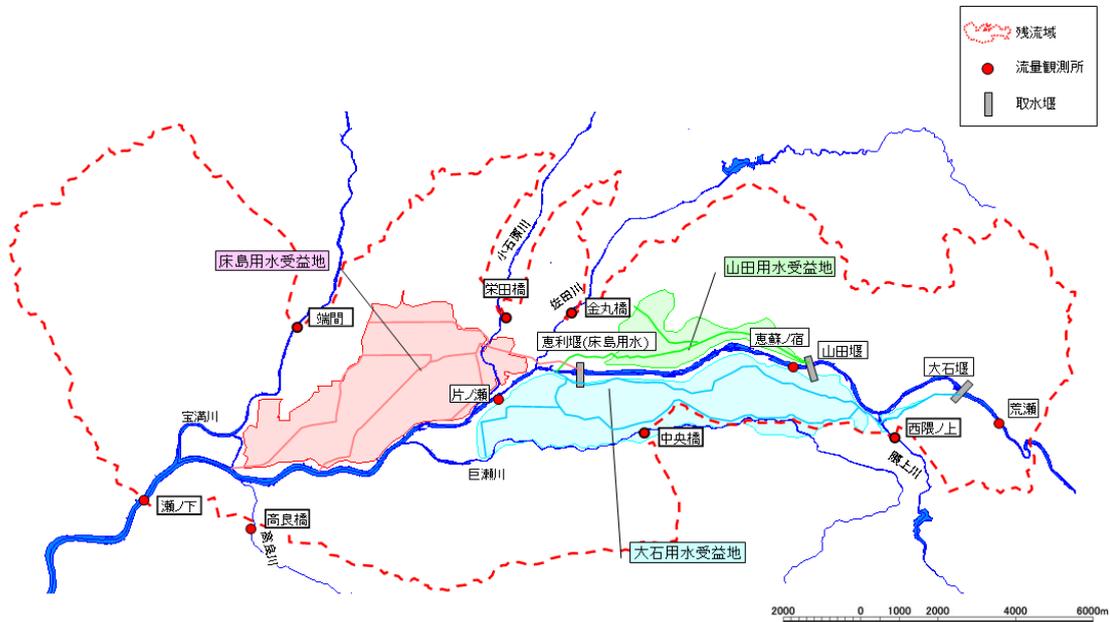


図-Ⅱ.3.4.1 夜明～瀨ノ下残流域と主要支川

#### a) 低水管理シミュレータの構築

表流水については、荒瀬地点では兩岸に低い台地が形成され、全ての流水が荒瀬地点において流下すると考えられるため、荒瀬地点流量を基に各種利水の取排水量、地下水量、都市排水量を推計して瀨ノ下地点流量を算定する手法を次のとおり開発した。

夜明～瀨ノ下間の残流域には、6つの主要支川が流入し、それぞれの流量観測所において、流況が把握されている(図-Ⅱ.3.4.1)。荒瀬地点流量や各種利水の取排水量を基に、余水排水量、還元率を用いて農業用水収支を表すと、瀨ノ下流量予測式は次のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{瀨ノ下流量} = & \text{荒瀬流量} + \text{残流域流入量} - \text{都市用水量} + \text{都市排水量} + \text{地下水流入量} - 3 \text{ 堰取水} (X+Y+Z) + 3 \\ & \text{堰余水排水量} (x+y+z) + \text{還元率による還元量} ((X-x) \times a + (Y-y) \times b + (Z-z) \times c) - \text{その他農} \\ & \text{水取水量} + \text{その他農水還元量} \end{aligned}$$

次に地下水については、当該区間における筑後川は、北側の朝倉山塊と南側の耳納山地に挟まれた低地部を流下しており、山地から地下水が河川へ流入する構造をなしている。これらの地下水位から当該区間沿川における地下水の流動状況は、図-Ⅱ.3.4.2のように推定できる。浅層地下水の流動する砂層の20%粒径(D20)と飽和透水係数の関係(クレーガーの表)により透水係数を  $k=1.40 \times 10^{-2} \text{cm/s}$  と設定し、また、筑後川中流部沿川での平均的な地下水位横断勾配 I は、地下水位観測所と河川水位の関係から、1/300程度と推定した。当該区間における平均的な砂層厚(10m)と河川延長から、地下

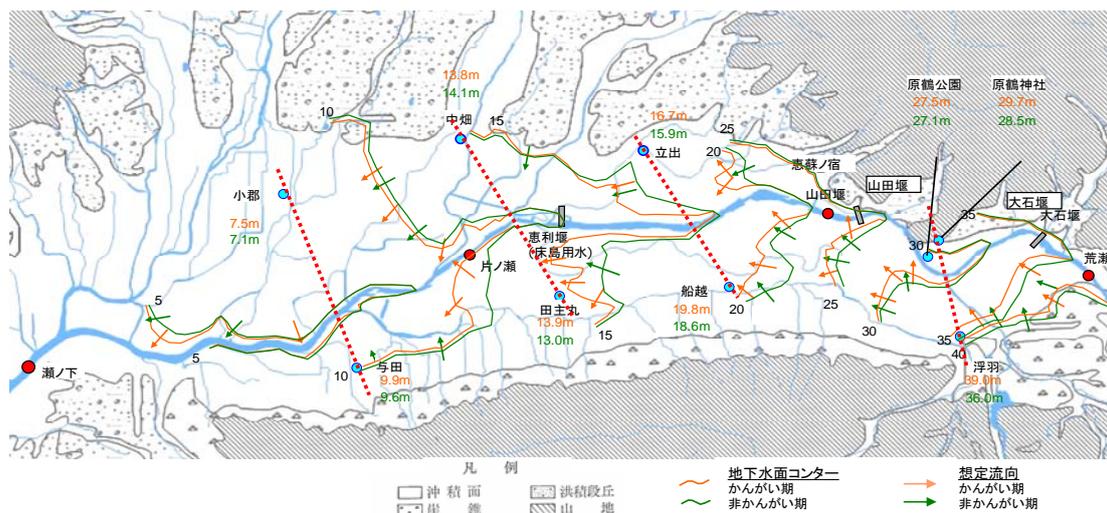


図-Ⅱ.3.4.2 地下水位平面分布図

水の河川への流入量を約  $0.26\text{m}^3/\text{s}$  と算定した。

#### b) 水収支再現性の確認と課題

以上の分析を基に瀬ノ下地点流況の再現結果を図-Ⅱ.3.4.3に示す。瀬ノ下地点の予測値と実績値は、概ね整合している。今後、モデルの精度向上を図る上で、着目すべき不確定要素としては、残流域流入量の他、余水排水量、農業用水の還元率が挙げられる。

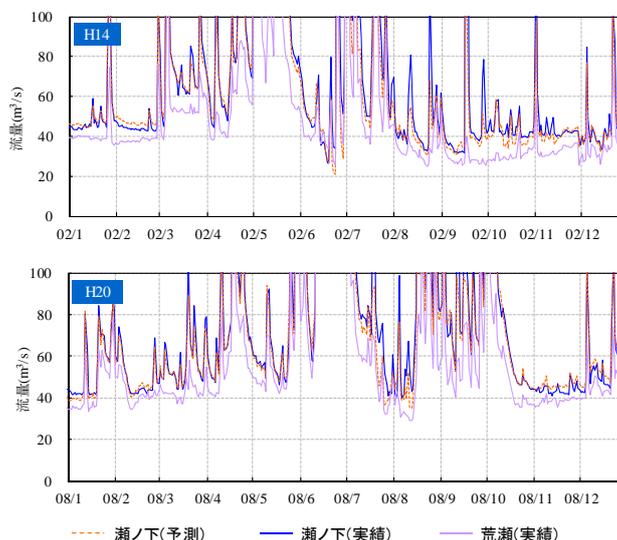


図-Ⅱ.3.4.3 瀬ノ下流量の予測計算再現結果

#### c) 水需給把握システムの構築

渇水時に利水者の渇水への耐性を考慮しつつ、節水率を設定することを可能とするべく、水需給把握システムの構築を行った。この水需給把握システムでは、筑後川に水源を依存する利水者全てを計上し、その水源を二級水系の自流及びダム、地下水、海水淡水化を含めて全て計上した。これらの条件設定の下、利水者の実際の給水ベースでの節水率と給水必要量を設定すれば、筑後川の取水率が逆算される。表-Ⅱ.3.4.1に、全利水者について節水率を一律20%に設定して、筑後川の取水率を求めた例を示す。これによれば、利水者Aのように他水源が豊富な利水者は、筑後川からの取水率を52%と厳しい取水制限まで対応することが可能であり、利水者Mのように水源を筑後川のみに依存する利水者は、取水率80%と緩やかな取水制限となる。また、逆に筑後川からの取水制限率を設定した場合の各利水者の節水率を求めることも可能である。本システムにより、取水率、節水率を適切に設定することにより、各利水者で必要となる節水率や、筑後川からの適切な取水率を求めることが可能となる。このようなシステムを活用し、各利水者間の平等な渇水調整が期待される。

表-Ⅱ.3.4.1 筑後川渇水時取水率・節水率算定システム  
(全利水者の節水率を一律20%に設定)

用途	利水者	S 計画供給能力(m <sup>3</sup> /s)					R 取水率(%)				K 渇水時取水量(=S*N*R)(m <sup>3</sup> /s)					D 給水必要量 (m <sup>3</sup> /s)	E 節水率(%)
		S1	S2	S3	S4	ΣS	R1	R2	R3	R4	K1	K2	K3	K4	ΣK		
水道	A	3.08	7.57	1.55	0.58	12.77	52%	40%	40%	100%	1.59	3.03	0.33	0.58	5.52	6.94	20%
	B	2.46	0.35	0.38		3.19	66%	40%	40%		1.64	0.14	0.09		1.87	2.33	20%
	C	0.32		0.07		0.39	56%		40%		0.18		0.01		0.19	0.24	20%
	D	1.18	0.98	0.09		2.25	45%	40%	40%		0.52	0.39	0.03		0.94	1.18	20%
	その他	0.47				0.47	44%				0.20				0.20	0.25	20%
	小計		7.52	8.90	2.08	0.58	19.07	55%	40%	40%	100%	4.13	3.56	0.46	0.58	8.73	10.94
工水	E	1.25				1.25	39%				0.49				0.49	0.61	20%
	F	0.17				0.17	80%				0.14				0.14	0.17	20%
	その他	0.25				0.25	80%				0.20				0.20	0.25	20%
	小計		1.67			1.67	49%				0.83				0.83	1.03	20%
農水	G	7.21				7.21	80%				5.77				5.77	7.21	20%
	H	3.50				3.50	80%				2.80				2.80	3.50	20%
	I	16.00				16.00	83%				13.31				13.31	16.65	20%
	J	6.40				6.40	69%				4.40				4.40	5.50	20%
	K	18.20				18.20	76%				13.83				13.83	17.31	20%
	L	12.12		2.10		14.22	77%		40%		9.27		0.42		9.69	12.12	20%
	M	28.08				28.08	80%				22.46				22.46	28.08	20%
	その他	6.43				6.43	80%				5.14				5.14	6.43	20%
	小計		97.94		2.10	100.04	79%		40%		76.99		0.42		77.41	96.80	20%
合計		107.12	8.90	4.18	0.58	120.78	77%	40%	40%	100%	81.95	3.56	0.88	0.58	86.96	108.77	20%

### 3-5 ダム群再編に関する課題分析と対応策

近年、地質、地形面で良好なダムサイトが少なくなってきており、財政の逼迫もあいまって、新規ダム建設はますます困難なものになっている。一方、既設ダム群は、建設時の社会的要請から順次整備を進めてきたため、治水・利水の目的を発揮する上で必ずしも最適な配置、容量配分になっていないのが現状である。このような背景から、既設ダムの機能を最大限有効活用するための「ダムの容量再編・再開発」が注目されている。ダム群再編の一例を、以下の図-Ⅱ.3.5.1に示す。

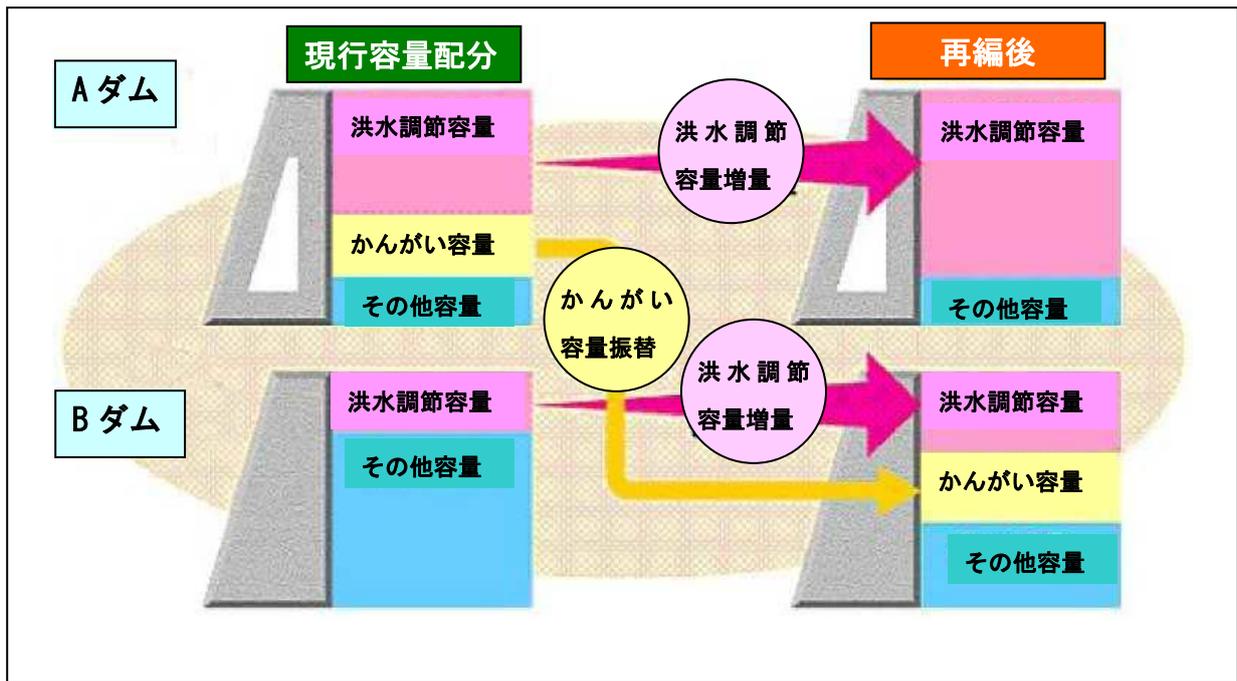


図-Ⅱ.3.5.1 ダム群再編の例

ダム群再編においては、複数のダムにおける治水容量、不特定容量、利水容量について、治水・利水機能を最適な効率で発揮すべく、再編することとなる。ここに、再編の対象となるダムは、国土交通省、(独)水資源機構など管理主体や設置根拠法、建設年次、利水者等が異なる上、現在治水容量として使用している容量に流水を貯留し、利水容量として活用すること等も想定されるため、権原、財産権、維持管理費、固定資産税、電源交付金などダムに関係する様々な法令等適用の取り扱いについて、調整を行う必要がある。また、集水面積の異なるダムに移転する利水者については、その利水安全度の担保にも配慮することが重要である。

本研究においては、利根川上流ダム群再編事業をモデルケースとして、今後の事業の円滑な推進に向けて、課題の分析と調整手法の具体的な検討を行い、調整手法ごとのメリット・デメリットを表-Ⅱ.3.5.1のようにまとめた。

#### a) 権原の取り扱い

ダムの権原については、建設の根拠となる特定多目的ダム法、水資源機構法、河川法により、その取り扱いが異なる他、治水、利水目的によっても、規定が異なる。ダム再編にあたっては、下流における水害、渇水被害の発生可能性が皆無ではないことに鑑みれば、調整に係わる実務は複雑となるものの、再編後の利用目的に応じた規定に合致するよう変更すべきである。なお、現在、利水の総合運用において実施されている協定締結による運用は、本再編に応用した場合、法令面から見て不適切であることも明らかにした。

#### b) 維持管理費の取り扱い

維持管理費については、ダム建設費に係わるアロケーションを参考に定められており、各ダムの建設費、経過年数により、その費用は大きく異なる。再編に伴い、維持管理費を再計算する必要があるが生じるが、その手法として次の3案を示した。

- ①各ダムのアロケーションを各々再計算する手法
- ②再編対象となるダムを一括して再計算する手法
- ③再編の原因者（利根川では治水）以外は、維持管理費が増大しないよう再計算する手法

c) 利水容量の取り扱い

ダム再編に伴い、集水面積が変化する利水者にとっては、利水基準年において、所定の利水補給が可能となるよう配慮する必要がある。特に集水面積が小さなダムに移転する利水者については、1/10に相当する利水安全度を確保するべく、現存する利水容量よりも大きな容量を与えることを検討すべきであることを示した。

d) 固定資産税、電源交付金の取り扱い

ダムに課される固定資産税は、都市用水のみであることから、都市用水に係わる利水容量の再編に伴い、ダム所在市町村の収入となる固定資産税が変動することとなる。また、電源交付金についても、水力発電の出力の変動に伴い、交付金額が変動することとなる。これらの問題解決に向けては、例えば原因者である治水において、減収補填を行う制度創設が考えられることを示した。

表-Ⅱ.3.5.1 ダム群再編手法のメリット・デメリットの整理

ケース		財産権	使用権等	操作規則	維持管理費	税金・交付金	メリット・デメリット
1	関連する法手続きを全て実施する。	●	●	●	●	●	○再編内容に応じて権原・財産や関連事項を全て変更するため <b>法的問題がない</b> 。
							×権原・財産、操作規則、維持管理費アロケ、税金・交付金等を全て見直す必要があるため、 <b>関係者との調整等に時間を要する</b> 。
2	財産権以外全て変更する。 ※本ケースの対象は兼用工作物のみ	—	●	●	●	●	○協定書に加え操作規則を変更することでダム運用を何に基づいて実施しているかが明確になる。実運用上、より <b>実用的な操作規則により運用することが可能となる</b> 。
							×兼用工作物の財産権を変えないことについて、影響を受ける利水者に対して協定書等で理解を得ることは難しいものと考えられる。 ×水利権者の変更時において協定等による <b>運用が法的に問題となる可能性</b> がある。
3	ダム関連法規への対応は行うが税金・交付金への反映は行わない。	●	●	●	●	—	○再編対象の <b>ダム所在市町村への支出・収入に影響がない</b> ため、税金に関する手続きやダム所在市町村との調整が容易である。
							×権原・財産、維持管理費等を見直す場合、税金・交付金についても併せて見直しを行うべきであるため、 <b>法的に問題となる可能性</b> がある。
4	ダム関連法規への対応は行うが維持管理費、税金・交付金等は変更しない。	●	●	●	—	—	○アロケーションを変更しないため、 <b>事業者との費用負担調整が容易になる</b>
							×権限・財産を変更したにも関わらず、維持管理費の支出先や負担額が変わらないことが、 <b>法的に問題となる可能性</b> がある。
5	操作に係る部分のみ変更し、権原・財産、維持管理費、税金・交付金等は変更しない。	—	—	●	—	—	○協定書、操作規則を変更することでダム運用を何に基づいて実施しているかが明確になる。より <b>実用的な操作規則により運用することが可能となる</b> 。
							×変更した操作規則と権原・財産の間に不整合が生じ、 <b>法的に問題となる可能性</b> がある。
6	現行のまま何も変更せず協定に基づいて運用する。	—	—	—	—	—	○取水地点を共有するような利水形態においては <b>関係者合意が得られやすい</b> と考えられる。
							×協定による運用について、 <b>法的に問題となる可能性</b> がある。 ×治水で実施する場合、運用時の事故発生で国の責任が大きく問われる可能性がある。