

渇水に関する想定最大外力設定の手引き (初版)

平成 31 年 3 月

国土交通省 水資源部

目 次

1. 目的.....	1
2. 用語の定義.....	2
3. 渇水に関する想定最大外力設定の条件.....	3
4. 渇水に関する想定最大外力の設定フロー.....	4
4.1. 設定手法の選択	4
4.2. 設定手法①：降水量の組合せ（複数ケース）から河川流量を算定して水運用計算から 設定する方法	6
4.2.1. 本手法の適用条件	6
4.2.2. 設定手順と設定フロー.....	6
4.2.3. 流域平均降水量を基にした降水量の組合せ.....	8
4.3. 設定手法②：水運用計算からダム貯水量の組合せにより設定する方法	10
4.3.1. 本手法の適用条件	10
4.3.2. 設定手順と設定フロー.....	10
4.4. 設定手法③：河川流量を低減（マイナス引き伸ばし）して設定する方法	12
4.4.1. 本手法の適用条件	12
4.4.2. 設定手順と設定フロー.....	12
4.5. 設定手法④：既往最大渇水	14
4.5.1. 本手法の適用条件	14
4.5.2. 設定手段と設定フロー.....	14
4.6. 設定手法⑤：無降雨継続法（実測流量から自然流量に戻し、ダム補給を再設定して、 ダム貯水量（率）で管理する手法）	15
4.6.1. 本手法の適用条件	15
4.6.2. 設定手段と設定フロー.....	15
5. 検討事例.....	16
5.1. 設定手法①による検討事例	16
5.1.1. 危機的な渇水の状況設定（降水量）	16
5.1.2. 危機的な渇水の状況設定（流量）	26
5.1.3. モデル水系の水運用モデルの検証.....	30
5.1.4. モデル水系における危機的な渇水の選定.....	30
5.1.5. 渇水に関する想定最大外力の設定.....	33
5.2. 設定手法②：水運用計算からダム貯水量の組み合わせにより設定する方法	34
5.2.1. 流量の算定	34
5.2.2. モデル水系の簡易水運用計算の検証.....	35

5.2.3.	簡易水運用計算	35
5.2.4.	渇水に関する想定最大外力の設定.....	36

(巻末資料) 蓋然性が担保された組合せ一覧表

1. 目的

水資源部では、平成27年3月に国土審議会より答申された「今後の水資源政策のあり方」において、危機的な渇水への対応として、「水源が枯渇し、国民生活や社会経済活動に深刻かつ重大な支障が生じる危機的な渇水に至らないための方策を検討すること。」とされたこと及び、平成27年8月に社会資本整備審議会より答申された「水災害分野における気候変動適応策のあり方について」において、渇水に対する適応策として「渇水に対する適応策を推進するため、関係者が連携して、渇水による影響・被害の想定や、渇水による被害を軽減するための対策等を定める渇水対応タイムライン（時系列の行動計画）を作成するべきである。」とされたことを受け、「水資源分野における気候変動への適応策のあり方検討会（水資源部）」において渇水対応タイムラインの作成を促進する一助として「渇水対応の検討を支援するガイドライン」の作成を検討している。

また、上記の社会資本整備審議会の答申では、想定しうる最大規模の外力の設定として「過去の降水量データ等を活用して、例えば、季節毎で最も厳しい実績の降水量を組合せるなどにより、国内で過去発生した最大級の渇水（福岡渇水、列島渇水）を上回るような渇水となる降水状況を想定最大外力として設定することが考えられる。」としている。

本手引書は渇水対応タイムラインを検討する際に必要となる「渇水に関する想定最大外力」を設定するための基本的な手法を定めたものであり、最大外力の設定にあたっての具体的な考え方、設定手法の例を示している。

水資源分野における気候変動の影響の予測や検討手法については、様々な研究機関等で研究が進められているが、渇水対応タイムラインの検討に適用するところまでは至っておらず、今後の研究の進捗が望まれるところである。そのため、本手引きにおいては、実渇水時の気象や流況等をもとに、渇水に関する想定最大外力を設定するための幾つかの手法を設定している。

なお、本手引書の「渇水に関する想定最大外力」の設定手法については、一例を示したものであること、水需給計画などの水資源計画、利水計画などの外力の設定手法ではないことに留意する必要がある。

2. 用語の定義

本手引書における主な用語の定義は、以下の通りである。

①危機的な渇水

水源が枯渇し、国民生活や社会経済活動に深刻かつ重大な支障が生じる渇水を指す。本手引書で取り扱う危機的な渇水では、現時点で蓋然性があると考えられる気象条件下での、最大規模の渇水をいう（近年の気候変動をふまえ、過去発生した最大級の渇水を上回るような渇水が想定される）。

②渇水に関する想定最大外力

危機的な渇水をもたらす水理・水文、気象条件を指す。本手引書においては、主にダム等の水資源開発施設の貯水量を指標とし、その貯水量が最小となる降水量・河川流量とする。

③蓋然性の確認

蓋然性の確認は、気候学的に年の異なる期間の事象の組合せが起こりえなくはない現象であることを確認することを指す。本手引書では、年の異なる期間の降水量やダム貯水量を組合せた場合に確認する。（巻末資料参照）

④南方振動指数

赤道の南で緯度が近いタヒチとダーウィンで観測された地上気圧の差を指数化したもので、貿易風の強さの目安の一つであり、正の値は貿易風が強いことを表す。（巻末資料参照）

⑤水運用計算

ダム貯水量を算定するため、河川流量・水需要（確保量）からダムによる貯留、補給を設定した簡易な水運用モデルを作成して計算（半旬単位）するものとする。利水計画立案の際に用いた利水計算モデルがあれば、それを用いることも可能である。

⑥多点管理

水資源開発施設としての複数のダムが統合的に運用されている、または、複数の地点に大規模な取水施設が存在する水系において実施されている、基準点毎に確保量が設定された水運用。

⑦基準点流量

正常流量が設定され長期間流量観測が実施されている地点の流量を基準点流量とする。実測の基準点流量には、上流ダムによる補給・貯留の影響が含まれるため、水運用計算ではダム操作量を戻したダムなし流量を使う。また、この流量には基準点上流の農業用水等の取水・還元による影響も含まれるため、降雨からの流出計算により求められた計算流量との違いがあるほか、水系の特性により正常流量が設定されていない、あるいは、長期間の流量観測が困難な水系があることに留意する。

⑧プール運用

複数の水資源開発施設としてのダムがある水系において、ダム貯水量を合計した統合運用により利水補給を行う管理方法。

3. 渇水に関する想定最大外力設定の条件

危機的な渇水の外力設定は、過去の水理・水文、気象データ等を活用して、蓋然性を確認した上で、最も厳しい降水量・河川流況等を設定することを基本とする。

設定では、渇水の発生が、各水系における流域の水需要量に対して、それを安定的に確保するための水資源開発施設（以下「ダム等」という）の能力が追いつかなかった時に生起することから、渇水に関する想定最大外力の設定を検討する条件としては、以下のとおりとする。

- 流域に位置するダム等については、社会・経済発展に伴う水需要の増大等に対応するため、整備が進められ、現在に至っていることから、現在のダム等の設置状況とする。
- 流域の水需要量（取水地点、取水量、及び取水期間）については、流水の正常な機能の維持のための流量の設定、流域の発展等による水需要量の増加等により変化していることから、現在の水需要量とする。
- ダム貯水量の算定にあたっては、取水制限による水需要量の削減は考慮しない。
- 流域の設定については、渇水対応タイムラインを作成する流域に合わせて水系を支川等小流域に適切に設定する。

渇水の大きさ（深刻度）については、ダム貯水量の最小値（ダム等枯渇後については、ダム等からの補給不足量）等で評価する。

ただし、利水補給（不特定用水を含む、農業用水、水道用水、工業用水）を目的としたダム等が存在しない水系や、水運用計算（簡易なもので可）が出来ない水系においては、河川流量を一定の割合で削減し、正常流量等との比較により危機的な渇水の状況を設定するものとする。

4. 渇水に関する想定最大外力の設定フロー

4.1. 設定手法の選択

渇水に関する想定最大外力については、次の①～③の設定手法の中から、下記の設定手法選択フローにより手法を設定することを基本とするが、水系・地域の特性により、「既往最大渇水」や「近年の記憶に新しい渇水」等をもとに設定することも考えられる。

設定手法①：降水量の組合せ（複数ケース）から河川流量を算定して水運用計算を行い、最も貯水量が厳しくなる状況から設定する方法

設定手法②：水運用計算からダム貯水量の組合せにより設定する方法

設定手法③：河川流量を低減（マイナス引き伸ばし）して設定する方法

設定手法④：ダム容量を最大限活用できるとした場合の供給可能量を算出し、供給可能量が最小となった年を既往最大渇水年とし、その年の流況（利水計画上の本来の水需要量を用いたダム調整後の流況）を想定最大外力として設定する方法

設定手法⑤：近年の記憶に新しい渇水（社会的影響が大きく、渇水の調整や対応が厳しかった記憶のある渇水）時の最低容量となった時点以降も無降雨が継続する状況を想定最大外力として設定する方法

○ダムが無い、あるいは水運用計算が出来ない水系は設定手法③とする。

○上記以外の水系では、基本的に設定手法①とするが、1ダム（あるいは1群）・1基準点のような簡易な構成の水系では設定手法②による設定も可能とする。その場合でも設定手法①による検討も併せて実施することを推奨する。

○設定手法①及び②による検討を行っても、ダムが枯渇する危機的な渇水が設定出来ない場合は、設定手法③により設定する。

○なお、水系・地域の特性により、本手引きに記載されていない方法で適切なものにより設定し、渇水対応タイムラインを作成する等、柔軟に対応することが望ましい。

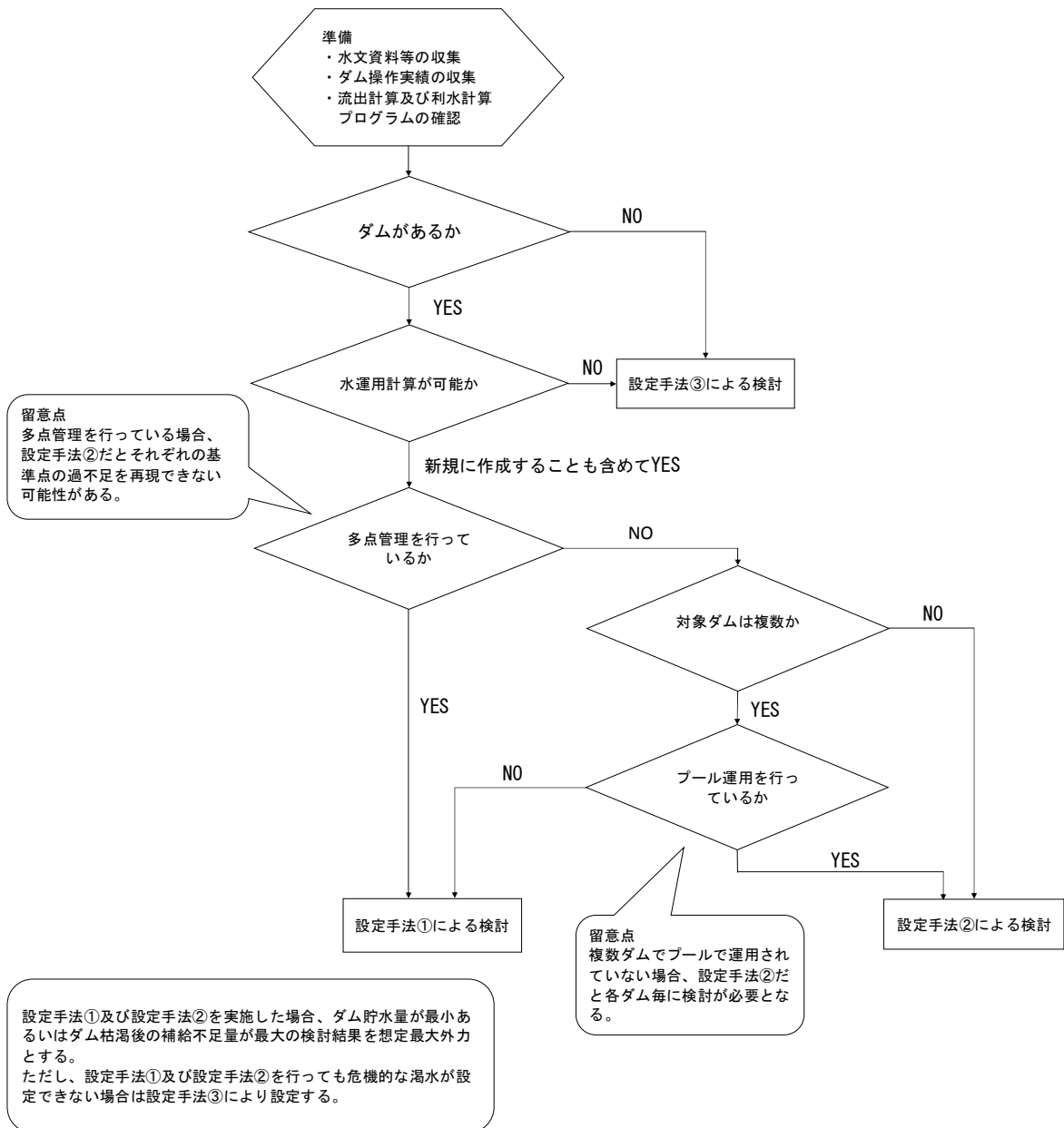


図 4-1 設定手法選択のフロー

4.2. 設定手法①：降水量の組合せ（複数ケース）から河川流量を算定して水運用計算から設定する方法

4.2.1. 本手法の適用条件

この設定手法は、水系内に利水補給（不特定用水を含む、農業用水、水道用水、工業用水）を目的としたダム等が存在し、水運用計算（簡易なもので可）が可能な水系に適用する。

4.2.2. 設定手順と設定フロー

この設定手法は、流域平均降水量を基に、4.2.3に記載する複数ケースの組合せを行い、それを用いた水運用計算結果の中からダム貯水量が最小となるケースを最大渇水として選定し、そのケースの降水量、河川流量を想定最大外力とするものである。

設定手順及び設定フローは次の通りである。

- ① 過去の降水量データ等を収集して、地点降水量から流域平均降水量（日単位）を算定する。
- ② ①の結果を用いて 4.2.3 に記載するケース 0～4 の降水量の組合せを設定する。
- ③ ケース 0～4 に対するダム地点の流量、基準点流量を流出計算モデルにより算定する。（流出計算により算定された基準点流量には、ダムと基準点の間にある取水・還元が考慮されないため、④の水運用計算の中でこの取水・還元が考慮出来ない場合は、この時点で計算に工夫が必要となるので留意する。）
流出計算モデルが無い場合は、ケース 0～4 で設定した年月日と同じ日の実測流量により算定する。なお、実測流量を用いる場合のダム下流の基準点流量については、実測流量にダム操作量を戻したダム無し流量として設定する。（ダムが完成する以前のダム地点の流量が必要となる場合で、ダム地点の観測流量が存在しない場合は、流域面積比等で推定する。）
- ④ ダム貯水量（ダム等枯渇後については、ダムからの補給不足量）を、河川流量・ダム等・水需要（確保量）を設定した流域の水需給が反映可能な水運用計算（半旬単位、簡易なものでも可）から算定する。

計算開始時点のダム貯水量は各ケースとも満水から開始する。

- ⑤ 算定されたダム貯水量が最小となる（ダム等枯渇後については、ダムからの補給不足量が最大となる）ケースを抽出し、そのケースの降水量及び河川流量を渇水に関する想定最大外力とする。

なお、ケース毎のダム貯水量最小値（ダム枯渇後の不足量）が同じ場合は、年降水量が少ないケースを採用する。

設定手法①のフロー（降水量の組合せによる設定手法）

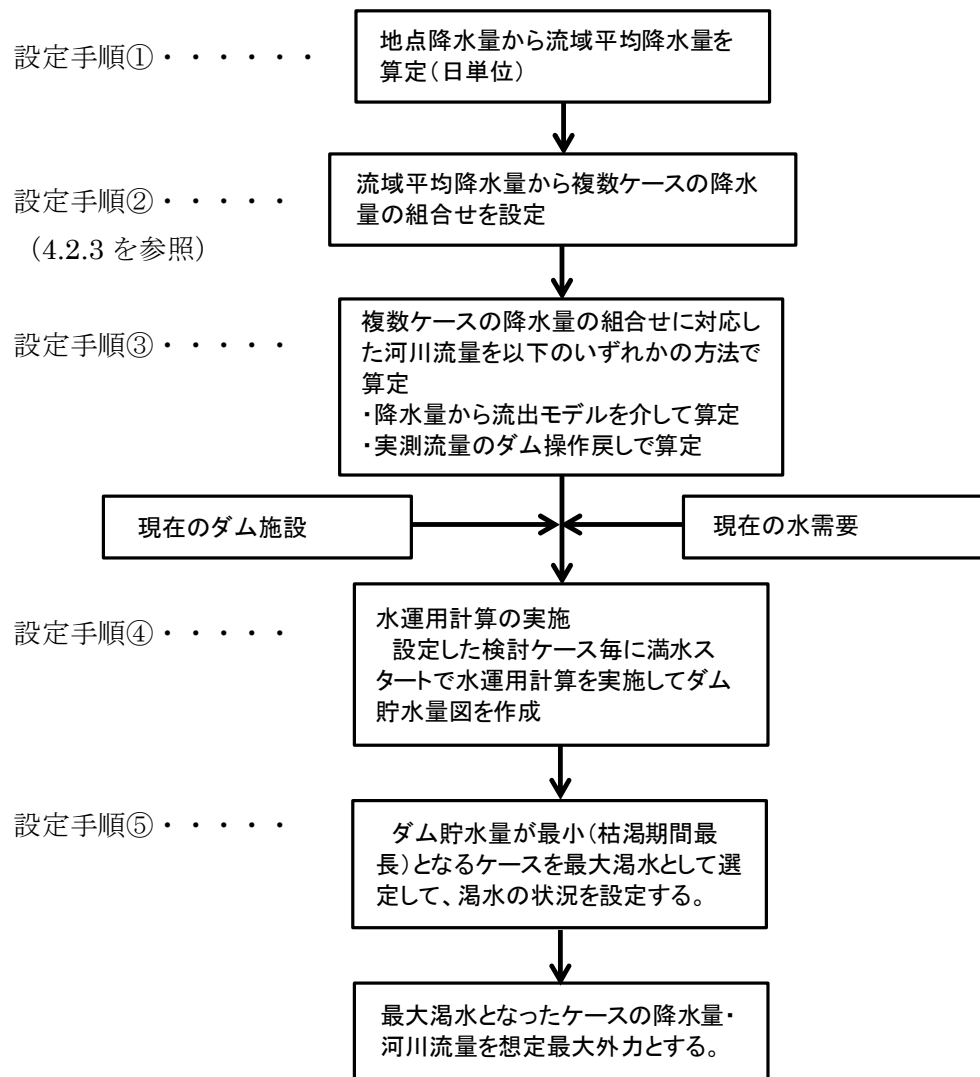


図 4-2 設定手法①の設定フロー

※この手法は、流域平均降水量からケース 0～4 のパターンを検討し、そのパターンに対応した河川流量を基にして、現在のダム施設と水需要による水運用計算を実施し、各ケースの中から想定最大外力を設定するものである。

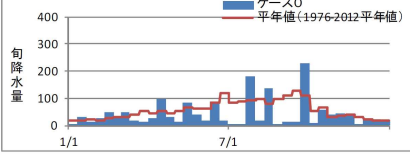
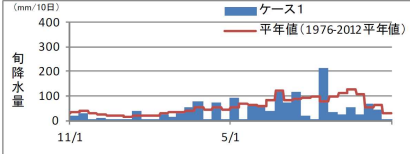
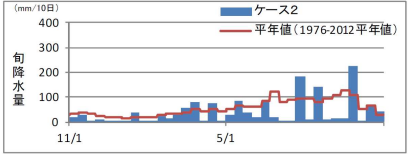
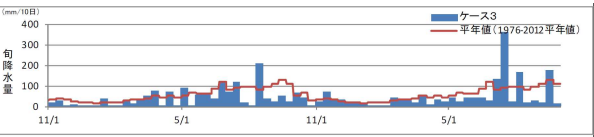
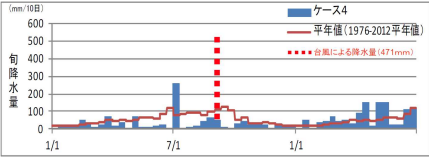
4.2.3. 流域平均降水量を基にした降水量の組合せ

流域平均降水量を基に、以下のケース0～4の組合せを整理し、それぞれのケースにおける水運用計算結果の中から、最も厳しくなるダム貯水量のケースの降水状況を渇水に関する想定最大外力として設定する。

- ・ ケース0：既往最大規模の渇水時の降水量を対象とした場合
- ・ ケース1：12ヶ月降水量が1番少ない期間の降水量を対象とした場合
- ・ ケース2：冬季の最小降水量と夏季の最小降水量を連続させた場合
冬期と夏季の組合せを考えて、蓋然性の確認（巻末資料参照）を行うものとし、冬季の最小と夏季の最小、夏季の最小と冬季の最小、冬季の最小と夏季の2番目に少ない年、冬季の2番目に少ない年と夏季の3番目に少ない年など、蓋然性の確認が出来る組合せを考える。
- ・ ケース3：年間降水量が1番少ない年と2番目以降に少ない年を連続させた場合
年間降水量が1番少ない年に、2番目以降の年間降水量が少ない年を連続させることを考えて、蓋然性の確認（巻末資料参照）を行い、1番目と2番目、1番目と3番目など、蓋然性の確認が出来る組合せを考える。
- ・ ケース4：過去の渇水時に台風による回復が行われなかったものとした場合

なお、ケース2・3では、色々な組合せにおいて蓋然性の確認が出来ない場合は採用しない。

表 4-1 流域平均降水量を基にした降水量の組合せ

設定		ハイトグラフ	対象年と降水量（例）
ケース 0	既往最大規模の渇水時の降水量を対象とする。		《例》1994 年 1 月～12 月の降水量 1507mm
ケース 1	12 ヶ月降水量が 1 番少ない期間を対象とする。		■ 前年11月～当年10月の1年間の年間降水量で評価する。 《例》第1位: 1996 年 (1995 年 11 月～1996 年 10 月) 1179mm
ケース 2	冬期の最小降水量と夏期最小降水量を連続させる。		■ 冬期: 前年11月1日から当年4月30日までの間の90日間降水量最小値で評価する。 ■ 夏期: 5月1日から10月30日までの間の60日間降水量最小値で評価する。 《例》最小値発生年 1994 年 5 月 10 日 770mm ■ 上記の冬期と夏期を連続させる。 《例》前年 11 月 1 日～10 月 31 日の降水量 105mm
ケース 3	年間降水量が 1 番少ない年と 2 番目に少ない年を連続させる。		■ 前年11月～当年10月の1年間の年間降水量の最小値と2番目に降水量が少ない年を連続させて評価する。 《例》第1位: 1996 年 (1995 年 11 月～1996 年 10 月) 1179mm 《例》第2位: 2007 年 (2006 年 11 月～2007 年 10 月) 1353mm ■ 上記の第1位と第2位を連続させる。 《例》2532mm/2 年
ケース 4	過去の渇水時に台風による回復が行われなかったものとする。		■ 過去の渇水記録から、大雨(台風)により渇水が解消された年の内、節水日数が長く最大節水率が大きい年について、台風が来なかった場合を想定し評価する。 《例》対象年: 2005 年 1646mm 台風による降水量 471mm 大雨(台風)がなかった場合の年間降水量 175mm

※上記設定でケース 1 は、連続する 12 ヶ月の降水量が最低となる期間を対象とする。（事例では前年 11 月～当年 10 月を設定しているが、流域の降雨状況によって適宜設定する。）

4.3. 設定手法②：水運用計算からダム貯水量の組合せにより設定する方法

4.3.1. 本手法の適用条件

この設定手法は、複数のダムによる多点管理を求められる高度なダム運用を実施している水系以外の、一つのダムあるいは複数のダムを一群と見なすことが可能で、かつ一つの基準点を対象にダム運用を実施している（あるいはしていると見なせる）水系に適用する。

4.3.2. 設定手順と設定フロー

この設定手法は、河川流量を基に、連続した水運用計算から求まる各年のダムのマスカーブから巻末資料を基に蓋然性を確認して組み合わせることで、最も厳しくなるダム貯水量を算出し、想定最大外力を設定するものであり、設定手法①に比べ簡易な手法である。

設定手順と設定フローは次の通りである。

- ① 過去の降水量データ等を収集して、ダム地点の流量、基準点流量を流出計算モデルにより算定する。（流出計算により算定された基準点流量には、ダムと基準点の間にある取水・還元が考慮されないため、②の水運用計算の中でこの取水・還元が考慮出来ない場合は、この時点で計算に工夫が必要となるので留意する。）

流出計算モデルが無い場合は実測流量により算定する。なお、実測流量を用いる場合のダム下流の基準点流量については、実測流量にダム操作量を戻したダム無し流量として設定する。（ダムが完成する以前のダム地点の流量が必要となる場合で、ダム地点の観測流量が存在しない場合は、流域面積比等で推定する。）

- ② ダム貯水量（ダム等枯渇後については、ダムからの補給不足量）を、河川流量・ダム等・水需要（確保量）を設定した流域の水需給が反映可能な水運用計算（半旬単位、簡易なものでも可）から算定する。

計算は流量が整理された年をから最終年まで連続で行い、計算開始時点のダム貯水量は満水から開始する。

- ③ 水運用計算から算定されたダム貯水量が最小となる（ダム等枯渇後については、ダムからの補給不足量が最大となる）年を抽出し最大渇水年とする。その最大渇水年とは別の年で最大渇水年と同等あるいはさらに多くの補給を実施している年（貯水量の減少率が最大渇水年の貯水量の減少率と同程度以上の年）を組み合わせ、最大渇水年よりさらに厳しい渇水状況を設定する。二つの年を組み合わせる際の接続月は同じ時期とし、蓋然性を確認（巻末資料参照）して組合せを選定する。（下記のイメージ図を参考）

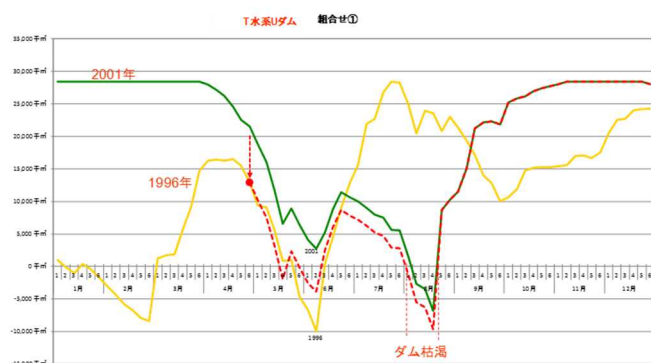


図 4-3 マスカーブの組合せのイメージ

このイメージ図では、最大渇水年を 1996 年として、この年よりも灌漑期の補給量が多い 2001 年を組み合わせ、4 月末と 5 月初を接続時期とし 1996 年 4 月と 2001 年 5 月の接続に蓋然性があることを確認している。

- ④ ③で選定された年の（イメージ図では 1996 年の 4 月までと、2001 年の 5 月以降）組合せの河川流量を用いた新たな水運用計算結果（イメージ図の 1996 年に続く点線部分）から、ダム貯水量の最小値（ダム等枯渇後については、ダムからの補給不足量の最大値）を算定し、より厳しい渇水状況を設定する。
- ⑤ ダム貯水量の最小値として選定されたマスカーブの期間（最大渇水年との組合せ）の降水量及び河川流量を、渇水に関する想定最大外力とする。

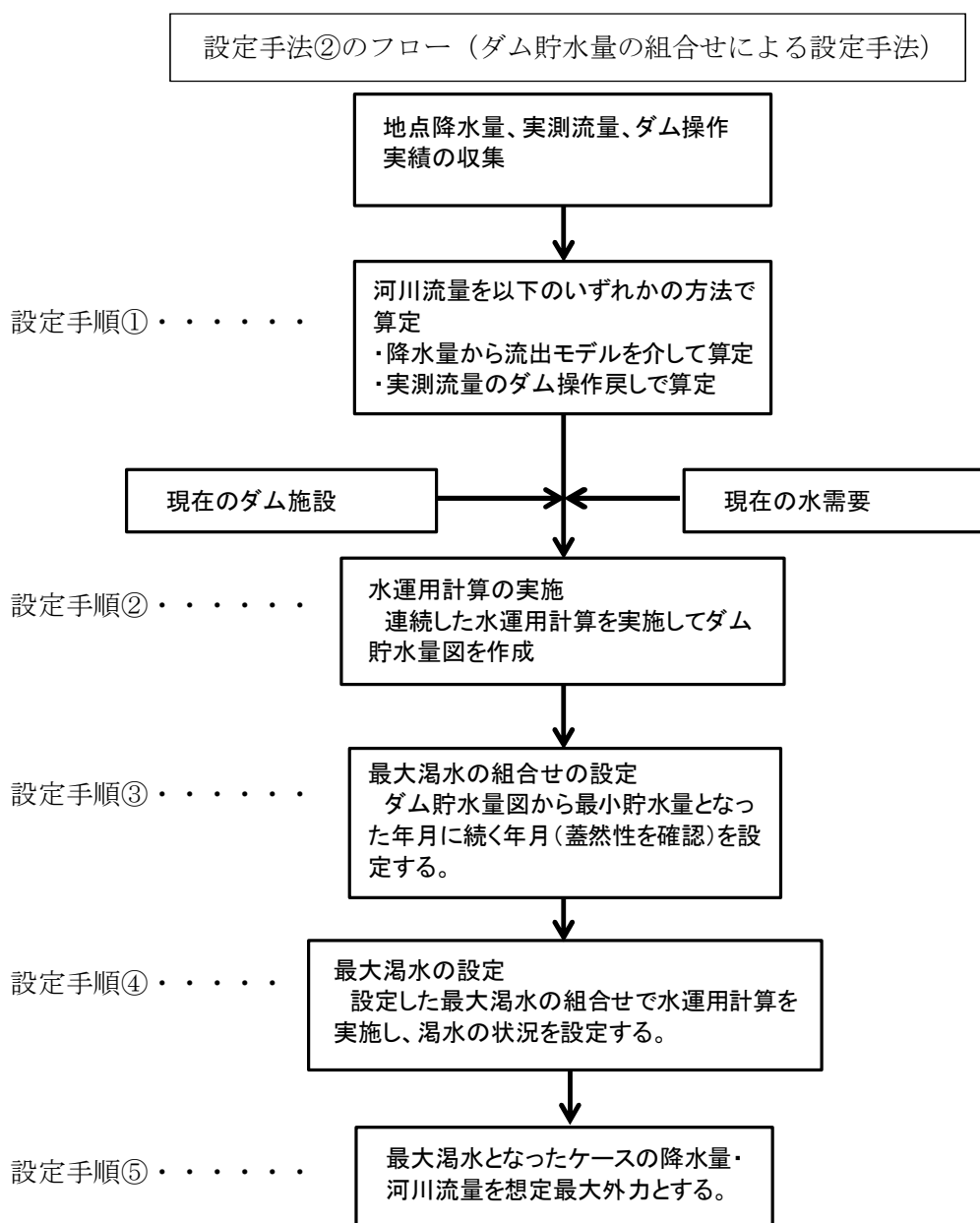


図 4-4 設定手法②の設定フロー

※この手法は、実測の降水量、河川流量、ダム操作実績を基にして、現在のダム施設と水需要による水運用計算を実施し、過去最低の貯水量となる年を抽出する。その年の貯水状況とその年以外の年で特に補給量の多い年（期間）を組合せて、想定最大外力を設定するものである。

4.4. 設定手法③：河川流量を低減（マイナス引き伸ばし）して設定する方法

4.4.1. 本手法の適用条件

この設定手法は、水系内に利水補給（不特定用水を含む、農業用水、水道用水、工業用水）を目的としたダムが存在しない水系とそのようなダムが存在しても水運用計算が出来ない水系に適用する。

また、これまで渇水が発生したことが無い水系や、設定手法①及び設定手法②による検討を実施しても危機的な渇水が設定出来ない水系に適用する。

4.4.2. 設定手順と設定フロー

この設定手法は、ダムが無いあるいは水運用計算が出来ない水系において、河川流量を一定の割合で削減し、正常流量との比較により危機的な渇水の状況を設定するものである。

設定手順は次の通りである。

- ① 基準点における実測流量を複数年（20年程度）抽出する。
- ② 抽出した基準点の実測流量を一定の割合（下記フローでは事例として8割に設定）で削減する。
- ③ ②で算定した基準点流量と正常流量を比較して不足する期間（取水制限期間）を算出する。（水系の実情に応じて1～2ヶ月／年程度の不足期間が複数回発生するように削減率を調整する。）
- ④ ③で算定した不足する期間における不足量を算定し、不足量が最大となる期間の状況を危機的な渇水とし、その渇水が発生した年の実測流量に削減率を掛けた流量を想定最大外力とする。なお、不足量の算定の際には、正常流量の値が期別で異なる場合があることに留意する必要がある。

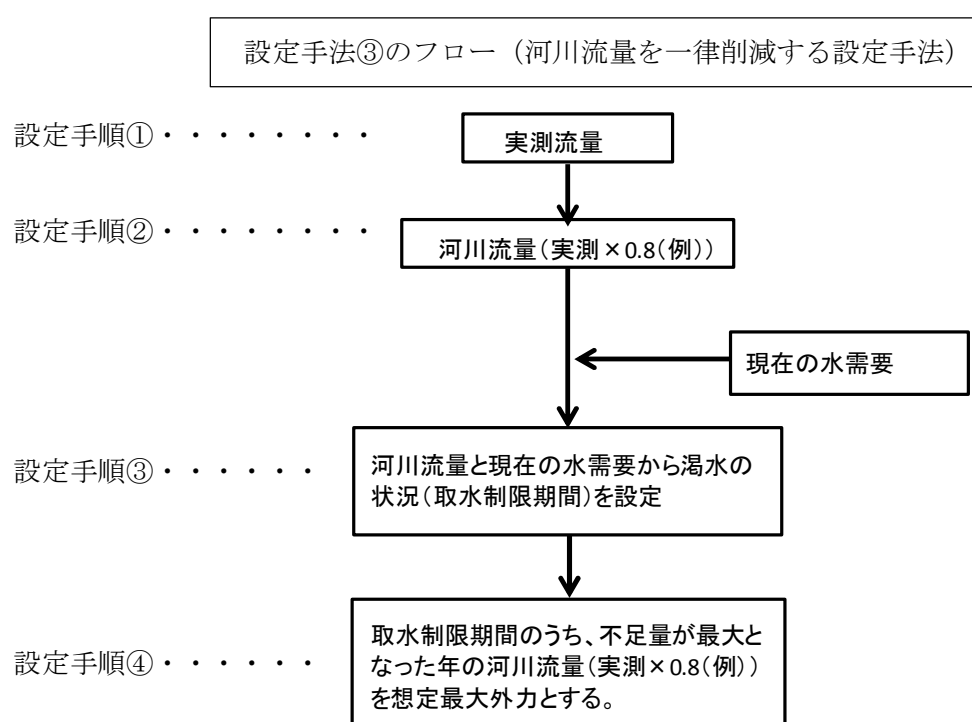


図 4-5 設定手法③の設定フロー

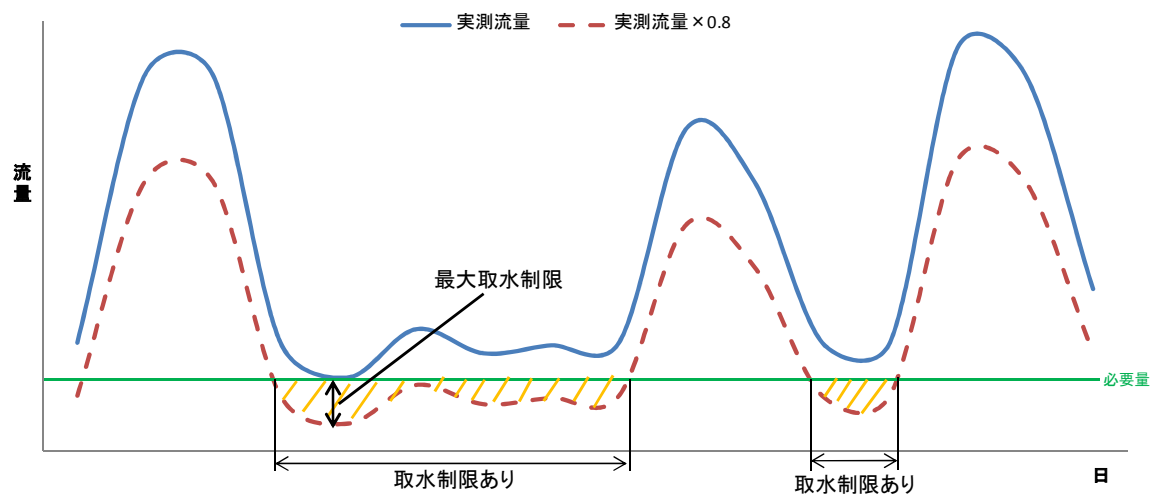


図 4-6 想定最大外力設定イメージ

4.5. 設定手法④：既往最大渇水

4.5.1. 本手法の適用条件

この手法は、ダム容量を最大限活用できるとした場合の供給可能量が最少となった年を既往最大渇水として、その年のダム貯水量を想定最大外力として設定することにより、タイムラインを作成検討する場合に適用する。

4.5.2. 設定手段と設定フロー

この設定手法は、水資源開発計画を検討する際の利水計算と同じ手法である。

- ① 始めに水利流量、維持流量、開発水量を合計した確保流量を基準に、自然流量（下図ではダムがない場合の流量）が不足する水量をダム利水容量が枯渇するまで、年間を通じてダム補給を実施する。
- ② ダム利水容量が枯渇した場合は、利水確保流量を調整し、上記①と同じ計算を、年間を通じて利水確保流量が不足しなくなるまで繰り返し実施する。
- ③ その結果、年間を通じて利水確保流量が確保できた年のダム貯水量を想定最大外力として設定する。

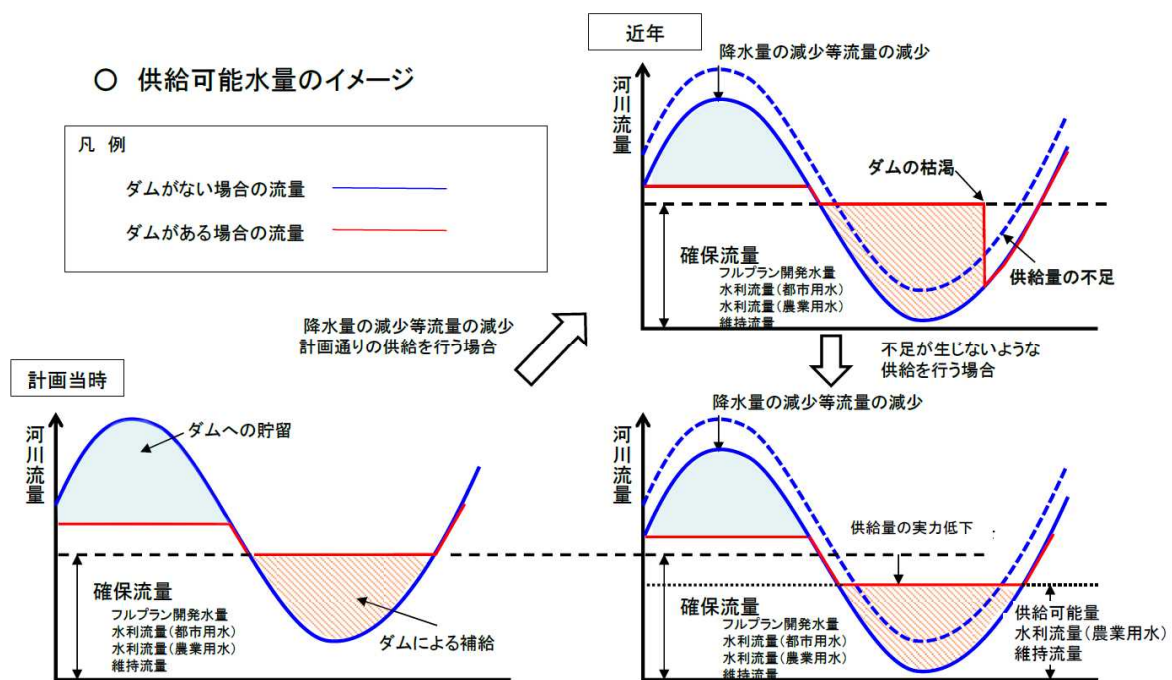


図 4-7 想定最大外力設定イメージ

4.6. 設定手法⑤：無降雨継続法（実測流量から自然流量に戻し、ダム補給を再設定して、ダム貯水量（率）で管理する手法）

4.6.1. 本手法の適用条件

この手法は、社会的影響が大きく、渇水調整や対応が厳しかった記憶のある渇水（例えば、平成6年列島渇水）時のダムの最低貯水量の状態をスタートとして、その後、無降雨が継続した状況を渇水に関する想定最大外力を設定することにより、タイムラインを作成検討する場合に適用する。

4.6.2. 設定手段と設定フロー

この設定手法は、無降雨の継続した状況を想定最大外力とする設定手法である。

設定手順は次の通りである。

- ① 社会的影響が大きく、渇水調整や対応が厳しかった記憶のある渇水時でのダム貯水量が最低となった以降の降雨による回復が無く、かつ、その後も無降雨が継続する状況を設定する。
- ② 基準地点の自然流量については、最大取水制限時の自然流量を継続して設定する。

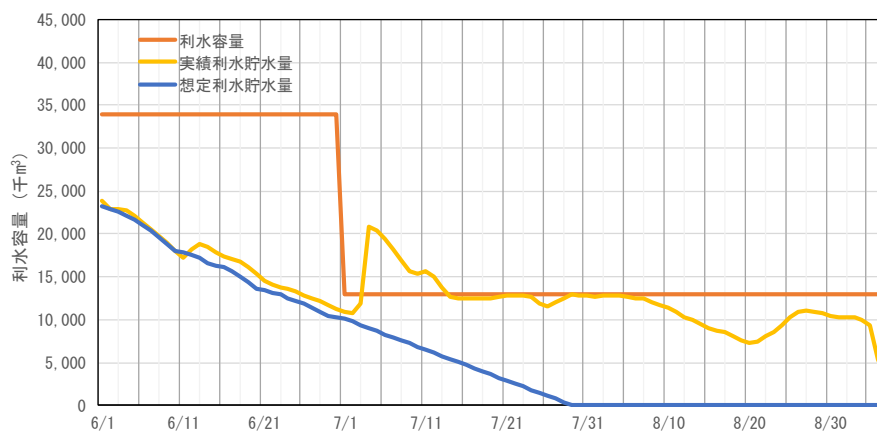


図 4-8 想定最大外力設定イメージ

5. 検討事例

5.1. 設定手法①による検討事例

設定手法①の具体の検討手法について、モデル水系の事例を以下に示す。

モデル水系は国土交通省が所管する 1 級水系で、上流部に直轄ダムである A ダムが設置され、下流に利水基準点が設定されている。

5.1.1. 危機的な渇水の状況設定（降水量）

危機的な渇水の状況設定（降水量）のケース 0 ～ 4 の条件における算定結果を以下に示す。なお、降水量の統計期間については、ケース 4 を除き 1976 年から 2013 年までとした。

ケース 4 の統計期間については、ダム操作に係るデータが入手の関係で 2003 年から 2013 年までとした。

(1) ケース 0（既往最大規模の渇水時の降水量）

既往最大規模の渇水時の降水量については、既往最小年降水量とする。その年降水量は、1994 年の 1,025mm（表 5-1）であり、この期間の降水条件をケース 0 として選定した。

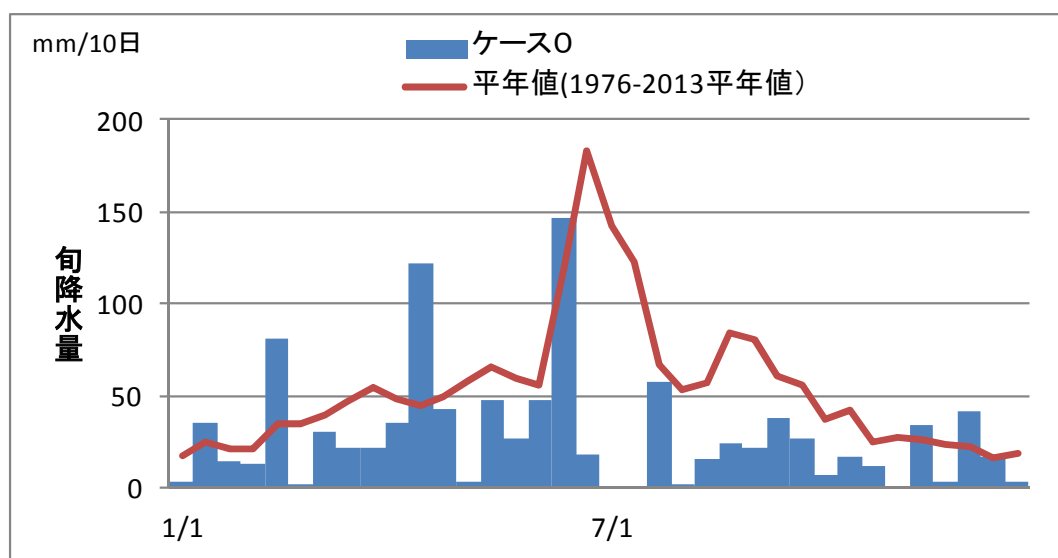


図 5-1 旬降水量（1994 年 1 月～12 月）

表 5-1 モデル流域平均月降水量

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
1976	18.7	171.5	93.0	252.2	213.8	362.8	109.8	295.3	285.5	174.9	62.9	106.1	2146.6
1977	20.4	50.1	175.7	232.2	241.1	392.2	103.9	142.8	87.9	66.0	80.3	40.4	1633.0
1978	60.2	81.0	79.1	99.1	63.2	226.8	116.2	109.2	173.6	88.2	61.4	60.4	1218.2
1979	70.9	116.2	173.3	139.6	80.4	616.6	201.9	135.0	273.8	125.0	113.5	74.1	2120.3
1980	62.0	37.7	163.1	122.7	239.3	267.2	800.4	681.2	158.3	190.2	56.3	61.8	2840.2
1981	26.6	122.0	105.1	164.6	171.2	488.5	314.0	151.9	93.0	192.1	137.3	14.6	1981.0
1982	28.4	120.8	167.4	153.4	97.4	78.0	694.6	311.3	211.6	53.8	99.0	21.0	2036.9
1983	38.4	75.3	215.8	182.9	208.3	249.0	316.0	119.7	159.2	129.8	18.1	23.9	1736.2
1984	77.9	62.0	94.4	131.9	116.0	394.9	137.5	96.9	122.0	38.0	51.5	88.1	1411.1
1985	30.9	150.6	193.4	177.8	200.5	623.0	214.9	92.6	224.1	101.9	42.3	51.1	2103.1
1986	26.4	47.6	154.8	124.8	278.1	362.9	501.2	54.2	177.2	44.0	16.9	56.5	1844.6
1987	68.6	75.7	213.1	98.6	206.7	279.5	483.0	437.3	261.7	220.4	49.5	31.3	2425.5
1988	32.1	61.6	183.2	144.4	195.0	514.6	252.3	168.6	200.1	50.8	36.5	14.6	1853.7
1989	144.6	168.2	107.9	55.1	346.0	200.2	148.5	169.0	383.7	34.1	41.8	24.0	1822.9
1990	98.7	115.3	119.4	141.6	160.7	311.2	221.6	83.3	260.6	217.6	52.7	35.2	1818.0
1991	30.9	147.3	235.3	176.6	216.2	512.8	481.6	115.6	180.1	21.7	48.7	45.2	2211.9
1992	74.8	90.2	333.1	110.1	161.5	232.9	149.1	333.0	47.7	25.6	45.1	60.3	1663.5
1993	67.5	58.6	121.6	180.2	120.2	566.6	556.3	409.3	418.6	89.4	116.3	68.2	2772.8
1994	51.8	94.0	73.3	200.0	77.1	212.8	57.0	40.3	85.3	35.1	37.3	61.2	1025.2
1995	55.6	32.2	88.9	169.4	289.9	215.4	498.3	106.7	202.6	55.7	35.9	9.7	1760.3
1996	44.5	56.3	183.4	106.0	167.4	587.4	236.4	131.9	108.3	62.5	67.6	59.4	1811.2
1997	43.0	49.1	129.5	179.7	259.4	177.0	664.2	181.0	397.5	44.9	154.4	97.0	2376.9
1998	219.3	89.6	126.3	175.7	188.7	464.6	114.5	47.6	108.4	209.6	25.6	1.0	1770.7
1999	43.3	65.4	112.3	126.9	152.5	627.7	178.8	204.3	319.1	56.7	85.2	20.4	1992.4
2000	78.0	45.7	131.7	115.6	158.1	325.2	130.2	98.4	156.5	92.0	148.4	41.9	1521.9
2001	140.9	99.8	106.0	67.5	121.0	473.9	336.8	137.8	155.3	184.2	133.7	46.8	2003.9
2002	85.4	68.4	125.4	141.4	338.4	196.8	237.0	106.3	65.5	94.6	62.1	116.7	1637.9
2003	69.5	75.6	140.6	192.9	161.7	228.2	440.1	348.8	84.1	25.7	175.5	37.4	1980.0
2004	41.1	94.3	89.8	105.5	365.5	315.4	63.8	245.9	446.8	371.9	35.4	129.8	2305.1
2005	46.2	110.9	109.2	34.7	117.2	50.7	456.8	72.6	428.8	49.0	92.8	45.0	1613.8
2006	51.5	113.2	110.0	196.6	193.2	448.1	556.8	395.5	214.1	38.0	144.2	53.8	2515.0
2007	49.8	73.7	98.0	125.6	118.8	110.4	654.0	348.5	77.7	112.6	38.2	98.1	1905.5
2008	104.6	51.1	161.0	157.9	186.2	467.5	108.9	223.1	195.9	47.4	61.8	66.8	1832.2
2009	71.9	123.3	89.5	106.0	82.3	349.9	465.2	75.5	45.1	97.3	136.6	49.6	1692.2
2010	55.3	98.1	199.2	234.9	202.5	263.0	372.7	104.7	157.2	81.0	32.2	124.8	1925.7
2011	25.6	59.8	63.9	52.1	336.4	555.2	222.3	209.9	205.1	144.4	161.5	51.9	2088.0
2012	30.5	168.4	151.6	126.3	54.1	442.1	857.6	117.2	144.0	68.4	86.3	103.0	2349.6
2013	64.8	119.0	103.4	108.6	67.3	408.9	138.3	286.5	177.6	187.5	64.6	65.7	1792.3

(2) ケース 1（12 ヶ月降水量が 1 番少ない降水量）

1976 年から 2013 年までの連続 12 ヶ月間の降水量は、以下のとおりである。最小値は、1994 年 5 月～1995 年 4 月の 952mm（表 5-2）であり、この期間の降水条件をケース 1 として選定した。

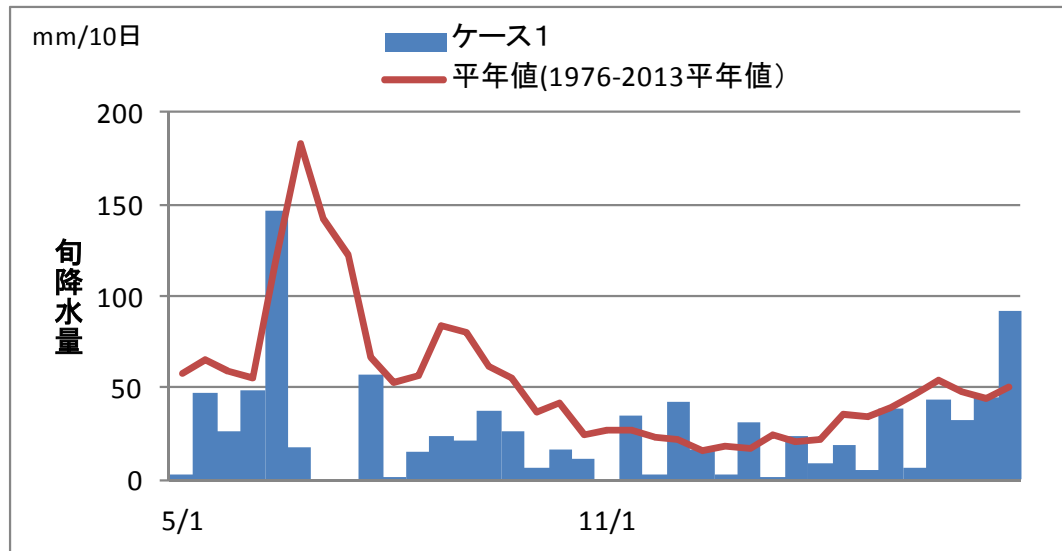


図 5-2 旬降水量（1994 年 5 月～1995 年 4 月）

表 5-2 モデル流域平均降水量（連続12ヶ月間）

対象となる期間	降水量合計	対象となる期間	降水量合計	対象となる期間	降水量合計	対象となる期間	降水量合計	対象となる期間	降水量合計
1976/01～1976/12	2146.6	1984/01～1984/12	1411.1	1992/01～1992/12	1663.5	2000/01～2000/12	1521.9	2008/01～2008/12	1832.2
1976/02～1977/01	2148.3	1984/02～1985/01	1364.1	1992/02～1993/01	1656.2	2000/02～2001/01	1584.8	2008/02～2009/01	1799.6
1976/03～1977/02	2026.9	1984/03～1985/02	1452.7	1992/03～1993/02	1624.6	2000/03～2001/02	1638.9	2008/03～2009/02	1871.8
1976/04～1977/03	2109.6	1984/04～1985/03	1551.8	1992/04～1993/03	1413.1	2000/04～2001/03	1613.2	2008/04～2009/03	1800.4
1976/05～1977/04	2089.7	1984/05～1985/04	1597.6	1992/05～1993/04	1483.2	2000/05～2001/04	1565.1	2008/05～2009/04	1748.4
1976/06～1977/05	2116.9	1984/06～1985/05	1682.1	1992/06～1993/05	1442.0	2000/06～2001/05	1528.0	2008/06～2009/05	1644.4
1976/07～1977/06	2146.3	1984/07～1985/06	1910.2	1992/07～1993/06	1775.7	2000/07～2001/06	1676.7	2008/07～2009/06	1526.8
1976/08～1977/07	2140.4	1984/08～1985/07	1987.6	1992/08～1993/07	2182.8	2000/08～2001/07	1883.2	2008/08～2009/07	1883.1
1976/09～1977/08	1987.9	1984/09～1985/08	1983.3	1992/09～1993/08	2259.1	2000/09～2001/08	1922.7	2008/09～2009/08	1735.5
1976/10～1977/09	1790.3	1984/10～1985/09	2085.4	1992/10～1993/09	2629.9	2000/10～2001/09	1921.4	2008/10～2009/09	1584.7
1976/11～1977/10	1681.4	1984/11～1985/10	2149.3	1992/11～1993/10	2693.7	2000/11～2001/10	2013.7	2008/11～2009/10	1634.6
1976/12～1977/11	1698.7	1984/12～1985/11	2140.1	1992/12～1993/11	2764.9	2000/12～2001/11	1999.0	2008/12～2009/11	1709.4
1977/01～1977/12	1633.0	1985/01～1985/12	2103.1	1993/01～1993/12	2772.8	2001/01～2001/12	2003.9	2009/01～2009/12	1692.2
1977/02～1978/01	1672.8	1985/02～1986/01	2098.6	1993/02～1994/01	2757.0	2001/02～2002/01	1948.4	2009/02～2010/01	1675.6
1977/03～1978/02	1703.7	1985/03～1986/02	1995.5	1993/03～1994/02	2792.4	2001/03～2002/02	1917.0	2009/03～2010/02	1650.4
1977/04～1978/03	1607.1	1985/04～1986/03	1956.9	1993/04～1994/03	2744.1	2001/04～2002/03	1936.3	2009/04～2010/03	1760.1
1977/05～1978/04	1473.9	1985/05～1986/04	1904.0	1993/05～1994/04	2763.9	2001/05～2002/04	2010.2	2009/05～2010/04	1889.0
1977/06～1978/05	1296.0	1985/06～1986/05	1981.5	1993/06～1994/05	2720.7	2001/06～2002/05	2227.6	2009/06～2010/05	2009.3
1977/07～1978/06	1130.5	1985/07～1986/06	1721.4	1993/07～1994/06	2366.9	2001/07～2002/06	1950.5	2009/07～2010/06	1922.4
1977/08～1978/07	1142.8	1985/08～1986/07	2007.7	1993/08～1994/07	1867.6	2001/08～2002/07	1850.7	2009/08～2010/07	1829.9
1977/09～1978/08	1109.2	1985/09～1986/08	1969.3	1993/09～1994/08	1498.6	2001/09～2002/08	1819.2	2009/09～2010/08	1859.0
1977/10～1978/09	1194.8	1985/10～1986/09	1922.4	1993/10～1994/09	1165.4	2001/10～2002/09	1729.4	2009/10～2010/09	1971.2
1977/11～1978/10	1217.1	1985/11～1986/10	1864.6	1993/11～1994/10	1111.1	2001/11～2002/10	1639.7	2009/11～2010/10	1954.9
1977/12～1978/11	1198.2	1985/12～1986/11	1839.2	1993/12～1994/11	1032.2	2001/12～2002/11	1568.1	2009/12～2010/11	1850.5
1978/01～1978/12	218.2	1986/01～1986/12	1844.6	1994/01～1994/12	1025.2	2002/01～2002/12	1637.9	2010/01～2010/12	1925.7
1978/02～1979/01	1228.9	1986/02～1987/01	1886.8	1994/02～1995/01	1029.0	2002/02～2003/01	1622.0	2010/02～2011/01	1895.9
1978/03～1979/02	1264.1	1986/03～1987/02	1914.9	1994/03～1995/02	967.2	2002/03～2003/02	1629.2	2010/03～2011/02	1857.6
1978/04～1979/03	1358.3	1986/04～1987/03	1973.3	1994/04～1995/03	982.9	2002/04～2003/03	1644.5	2010/04～2011/03	1722.3
1978/05～1979/04	1398.8	1986/05～1987/04	1947.1	1994/05～1995/04	952.2	2002/05～2003/04	1696.0	2010/05～2011/04	1539.5
1978/06～1979/05	1416.0	1986/06～1987/05	1875.7	1994/06～1995/05	1165.1	2002/06～2003/05	1519.2	2010/06～2011/05	1673.4
1978/07～1979/06	1805.9	1986/07～1987/06	1792.3	1994/07～1995/06	1167.7	2002/07～2003/06	1550.6	2010/07～2011/06	1965.6
1978/08～1979/07	1891.6	1986/08～1987/07	1774.0	1994/08～1995/07	1609.0	2002/08～2003/07	1753.7	2010/08～2011/07	1815.2
1978/09～1979/08	1917.4	1986/09～1987/08	2157.1	1994/09～1995/08	1675.4	2002/09～2003/08	1996.1	2010/09～2011/08	1920.4
1978/10～1979/09	2017.7	1986/10～1987/09	2241.6	1994/10～1995/09	1792.7	2002/10～2003/09	2014.7	2010/10～2011/09	1968.2
1978/11～1979/10	2054.6	1986/11～1987/10	2418.0	1994/11～1995/10	1813.3	2002/11～2003/10	1945.9	2010/11～2011/10	2031.6
1978/12～1979/11	2106.7	1986/12～1987/11	2450.7	1994/12～1995/11	1811.8	2002/12～2003/11	2059.3	2010/12～2011/11	2160.9
1979/01～1979/12	2120.3	1987/01～1987/12	2425.5	1995/01～1995/12	1760.3	2003/01～2003/12	1980.0	2011/01～2011/12	2088.0
1979/02～1980/01	2111.5	1987/02～1988/01	2389.0	1995/02～1996/01	1749.2	2003/02～2004/01	1951.6	2011/02～2012/01	2092.9
1979/03～1980/02	2033.0	1987/03～1988/02	2374.8	1995/03～1996/02	1773.4	2003/03～2004/02	1970.3	2011/03～2012/02	2201.5
1979/04～1980/03	2022.8	1987/04～1988/03	2344.9	1995/04～1996/03	1867.9	2003/04～2004/03	1919.5	2011/04～2012/03	2289.2
1979/05～1980/04	2005.9	1987/05～1988/04	2390.7	1995/05～1996/04	1804.5	2003/05～2004/04	1832.1	2011/05～2012/04	2363.5
1979/06～1980/05	2164.8	1987/06～1988/05	2379.0	1995/06～1996/05	1682.0	2003/06～2004/05	2035.9	2011/06～2012/05	2081.2
1979/07～1980/06	1815.4	1987/07～1988/06	2614.2	1995/07～1996/06	2054.0	2003/07～2004/06	2123.1	2011/07～2012/06	1968.1
1979/08～1980/07	2413.9	1987/08～1988/07	2383.5	1995/08～1996/07	1792.1	2003/08～2004/07	1746.8	2011/08～2012/07	2603.4
1979/09～1980/08	2960.1	1987/09～1988/08	2114.8	1995/09～1996/08	1817.3	2003/09～2004/08	1643.9	2011/09～2012/08	2510.8
1979/10～1980/09	2844.5	1987/10～1988/09	2053.1	1995/10～1996/09	1723.0	2003/10～2004/09	2006.6	2011/10～2012/09	2449.7
1979/11～1980/10	2909.7	1987/11～1988/10	1883.5	1995/11～1996/10	1729.8	2003/11～2004/10	2352.8	2011/11～2012/10	2373.7
1979/12～1980/11	2852.4	1987/12～1988/11	1870.4	1995/12～1996/11	1761.5	2003/12～2004/11	2212.7	2011/12～2012/11	2298.5
1980/01～1980/12	2840.2	1988/01～1988/12	1853.7	1996/01～1996/12	1811.2	2004/01～2004/12	2305.1	2012/01～2012/12	2349.6
1980/02～1981/01	2804.8	1988/02～1989/01	1966.3	1996/02～1997/01	1809.7	2004/02～2005/01	2310.1	2012/02～2013/01	2383.9
1980/03～1981/02	2889.1	1988/03～1989/02	2072.8	1996/03～1997/02	1802.5	2004/03～2005/02	2326.7	2012/03～2013/02	2334.5
1980/04～1981/03	2831.2	1988/04～1989/03	1997.5	1996/04～1997/03	1748.6	2004/04～2005/03	2346.1	2012/04～2013/03	2286.3
1980/05～1981/04	2873.1	1988/05～1989/04	1908.2	1996/05～1997/04	1822.4	2004/05～2005/04	2275.3	2012/05～2013/04	2268.6
1980/06～1981/05	2805.0	1988/06～1989/05	2059.2	1996/06～1997/05	1914.4	2004/06～2005/05	2027.0	2012/06～2013/05	2281.9
1980/07～1981/06	3026.2	1988/07～1989/06	1744.7	1996/07～1997/06	1504.0	2004/07～2005/06	1762.3	2012/07～2013/06	2248.7
1980/08～1981/07	2539.9	1988/08～1989/07	1640.9	1996/08～1997/07	1931.7	2004/08～2005/07	2155.2	2012/08～2013/07	1529.3
1980/09～1981/08	2010.6	1988/09～1989/08	1641.3	1996/09～1997/08	1980.8	2004/09～2005/08	1982.0	2012/09～2013/08	1698.6
1980/10～1981/09	1945.4	1988/10～1989/09	1824.9	1996/10～1997/09	2270.0	2004/10～2005/09	1964.0	2012/10～2013/09	1732.2
1980/11～1981/10	1947.2	1988/11～1989/10	1808.1	1996/11～1997/10	2252.5	2004/11～2005/10	1641.1	2012/11～2013/10	1851.3
1980/12～1981/11	2028.2	1988/12～1989/11	1813.5	1996/12～1997/11	2339.3	2004/12～2005/11	1698.6	2012/12～2013/11	1829.6
1981/01～1981/12	1981.0	1989/01～1989/12	1822.9	1997/01～1997/12	2376.9	2005/01～2005/12	1613.8	2013/01～2013/12	1792.3
1981/02～1982/01	1982.8	1989/02～1990/01	1777.1	1997/02～1998/01	2553.1	2005/02～2006/01	1619.2		
1981/03～1982/02	1981.6	1989/03～1990/02	1724.3	1997/03～1998/02	2593.6	2005/03～2006/02	1621.5		
1981/04～1982/03	2043.8	1989/04～1990/03	1735.8	1997/04～1998/03	2590.4	2005/04～2006/03	1622.3		
1981/05～1982/04	2032.7	1989/05～1990/04	1822.3	1997/05～1998/04	2586.3	2005/05～2006/04	1784.2		
1981/06～1982/05	1958.9	1989/06～1990/05	1637.1	1997/06～1998/05	2515.5	2005/06～2006/05	1860.2		
1981/07～1982/06	1548.4	1989/07～1990/06	1748.1	1997/07～1998/06	2803.2	2005/07～2006/06	2257.6		
1981/08～1982/07	1929.0	1989/08～1990/07	1821.3	1997/08～1998/07	2253.5	2005/08～2006/07	2357.7		
1981/09～1982/08	2088.4	1989/09～1990/08	1735.6	1997/09～1998/08	2120.1	2005/09～2006/08	2680.6		
1981/10～1982/09	2207.0	1989/10～1990/09	1612.5	1997/10～1998/09	1830.9	2005/10～2006/09	2465.9		
1981/11～1982/10	2068.7	1989/11～1990/10	1796.0	1997/11～1998/10	1995.6	2005/11～2006/10	2454.9		
1981/12～1982/11	2030.5	1989/12～1990/11	1806.9	1997/12～1998/11	1866.7	2005/12～2006/11	2506.2		
1982/01～1982/12	2036.9	1990/01～1990/12	1818.0	1998/01～1998/12	1770.7	2006/01～2006/12	2515.0		
1982/02～1983/01	2046.9	1990/02～1991/01	1750.1	1998/02～1999/01	1594.7	2006/02～2007/01	2513.3		
1982/03～1983/02	2001.3	1990/03～1991/02	1782.1	1998/03～1999/02	1570.5	2006/03～2007/02	2473.7		
1982/04～1983/03	2049.7	1990/04～1991/03	1898.0	1998/04～1999/03	1556.4	2006/04～2007/03	2461.8		
1982/05～1983/04	2079.2	1990/05～1991/04	1933.0	1998/05～1999/04	1507.6	2006/05～2007/04	2390.8		
1982/06～1983/05	2190.0	1990/06～1991/05	1988.5	1998/06～1999/05	1471.4	2006/06～2007/05	2316.5		
1982/07～1983/06	2361.0	1990/07～1991/06	2190.1	1998/07～1999/06	1634.5	2006/07～2007/06	1978.8		
1									

(3) ケース2（冬季の最小降水量と夏季の最小降水量を連続）

冬季（前年11月1日から当年4月30日まで）の90日間降水量最小値と夏季（5月1日から10月30日まで）の60日間降水量最小値を抽出（下表参照）し、その期間を含む冬季及び夏季の降水量について、蓋然性を考慮して連続させると、916mmとなる。

- ・ 冬季：1983年11月～1984年4月 408mm
- ・ 夏季：1994年5月～10月 508mm

なお、蓋然性を考慮した組合せとしては、①冬季から夏季、②夏季から冬季の二通り考えられることから、両者を比較し、年降水量が最小となる組合せ（冬季から夏季の1983年11月～1984年4月⇒1994年5月～10月）の降水条件をケース2として選定した（表5-3、表5-4）。

冬季(前年11月から当年4月)	90日間降水量	夏季(5月～10月)	60日間降水量
1998/11～1999/04	69.7	1992/05～10	73.2
1995/11～1996/04	82.0	1994/05～10	75.6
1987/11～1988/04	88.2	2005/05～10	100.0
1983/11～1984/04	96.8	1998/05～10	102.5
1990/11～1991/04	99.1	2003/05～10	109.4

冬季(前年11月から当年4月)	降水量	夏季(5月～10月)	降水量
1998/11～1999/04	374.3	1992/05～10	949.8
1995/11～1996/04	435.9	1994/05～10	507.6
1987/11～1988/04	502.1	2005/05～10	1175.0
1983/11～1984/04	408.1	1998/05～10	1133.3
1990/11～1991/04	678.0	2003/05～10	1288.5

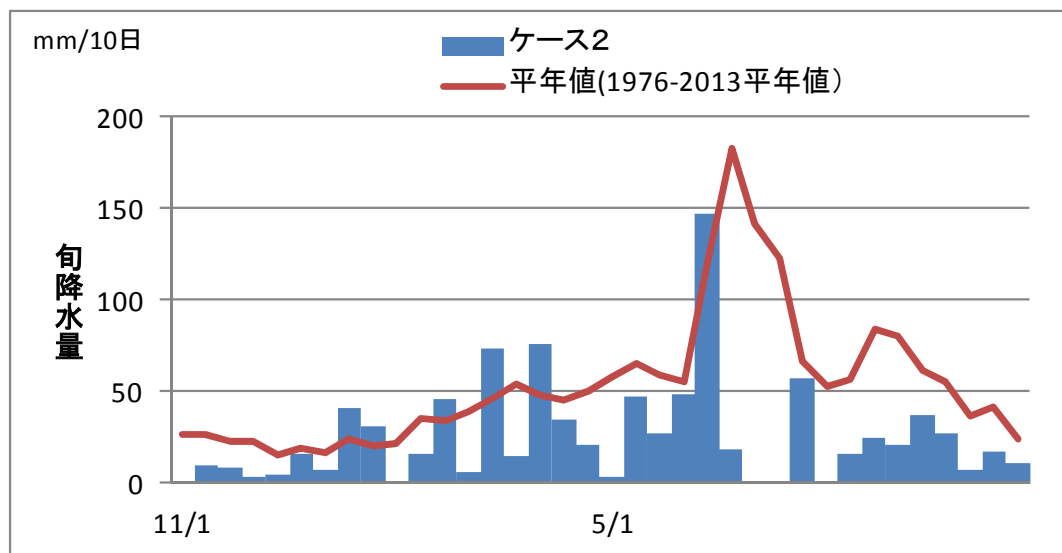


図 5-3 旬降水量（1983年11月～1984年4月⇒1994年5月～10月）

表 5-3 蓋然性を考慮した降水量の組合せ（冬季⇒夏季）

冬季	終期	夏季	始期	降水量	蓋然性
1998/11～1999/04	4	1994/05～10	5	881.9	
1983/11～1984/04	4	1994/05～10	5	915.8	★
1995/11～1996/04	4	1994/05～10	5	943.5	★
1987/11～1988/04	4	1994/05～10	5	1009.7	
1990/11～1991/04	4	1994/05～10	5	1185.6	★
1998/11～1999/04	4	1992/05～10	5	1324.2	
1983/11～1984/04	4	1992/05～10	5	1358.0	
1995/11～1996/04	4	1992/05～10	5	1385.7	
1987/11～1988/04	4	1992/05～10	5	1452.0	
1998/11～1999/04	4	1998/05～10	5	1507.6	
1983/11～1984/04	4	1998/05～10	5	1541.4	
1998/11～1999/04	4	2005/05～10	5	1549.4	
1995/11～1996/04	4	1998/05～10	5	1569.2	
1983/11～1984/04	4	2005/05～10	5	1583.2	★
1995/11～1996/04	4	2005/05～10	5	1610.9	

表 5-4 蓋然性を考慮した降水量の組合せ（夏季⇒冬季）

夏季	終期	冬季	始期	降水量	蓋然性
1994/05～10	10	1998/11～1999/04	11	881.9	
1994/05～10	10	1983/11～1984/04	11	915.8	
1994/05～10	10	1995/11～1996/04	11	943.5	
1994/05～10	10	1987/11～1988/04	11	1009.7	
1994/05～10	10	1990/11～1991/04	11	1185.6	
1992/05～10	10	1998/11～1999/04	11	1324.2	
1992/05～10	10	1983/11～1984/04	11	1358.0	
1992/05～10	10	1995/11～1996/04	11	1385.7	
1992/05～10	10	1987/11～1988/04	11	1452.0	
1998/05～10	10	1998/11～1999/04	11	1507.6	★
1998/05～10	10	1983/11～1984/04	11	1541.4	
2005/05～10	10	1998/11～1999/04	11	1549.4	
1998/05～10	10	1995/11～1996/04	11	1569.2	★
2005/05～10	10	1983/11～1984/04	11	1583.2	★
2005/05～10	10	1995/11～1996/04	11	1610.9	

(4) ケース3（年間降水量が1番少ない年と2番目に少ない年を連続）

前年11月～当年10月の1年間の年間降水量（表5-5）について、蓋然性を考慮して連続させると、最小値は2,328mm/2年であった（統計期間：1976年から2013年まで）。

- ・ 第1位：1,111mm（1993年11月～1994年10月）
- ・ 第2位：1,217mm（1977年11月～1978年10月）

なお、蓋然性を考慮した組合せとしては、①降水量が少ない年から多い年、②降水量が多い年から少ない年の二通り考えられることから、両者を比較し、年降水量が最小となる組合せ（第1位から第2位の1993年11月～1994年10月⇒1977年11月～1978年10月）の降水条件をケース3として選定した（表5-6、表5-7）。

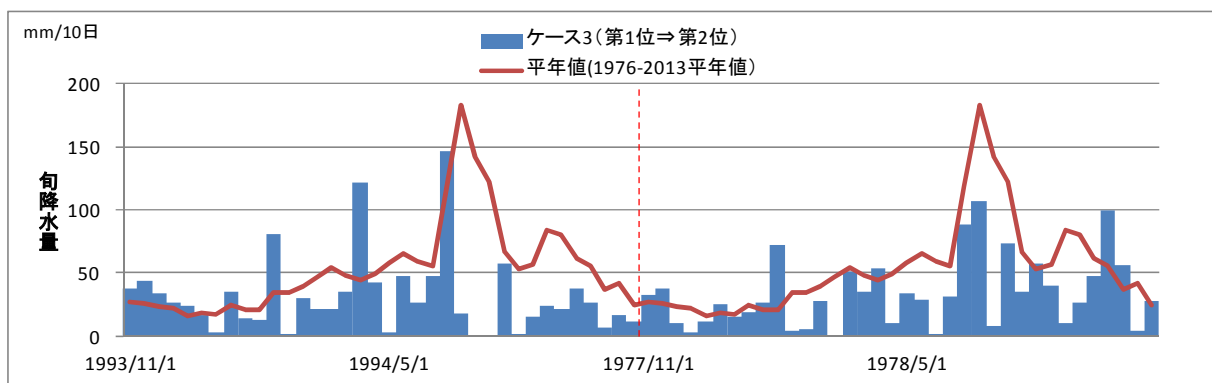


図 5-4 旬降水量（第1位⇒第2位）

表 5-5 モデル流域平均年降水量（前年 11 月～当年 10 月）

1993/11～1994/10	1111.1	第1位
1977/11～1978/10	1217.1	第2位
1983/11～1984/10	1313.5	第3位
1999/11～2000/10	1437.2	第4位
2008/11～2009/10	1634.6	第5位
2001/11～2002/10	1639.7	第6位
2004/11～2005/10	1641.1	第7位
1991/11～1992/10	1652.0	第8位

表 5-6 蓋然性を考慮した降水量の組合せ（降水量少⇒降水量多）

組合せ	降水量の合計	対象期間	終期	対象期間	始期	蓋然性
第1位⇒第2位	2328.2	1993/11～1994/10	10	1977/11～1978/10	11	★
第1位⇒第3位	2424.6	1993/11～1994/10	10	1983/11～1984/10	11	
第2位⇒第3位	2530.5	1977/11～1978/10	10	1983/11～1984/10	11	
第1位⇒第4位	2548.3	1993/11～1994/10	10	1999/11～2000/10	11	
第2位⇒第4位	2654.2	1977/11～1978/10	10	1999/11～2000/10	11	
第1位⇒第5位	2745.8	1993/11～1994/10	10	2008/11～2009/10	11	
第3位⇒第4位	2750.6	1983/11～1984/10	10	1999/11～2000/10	11	
第1位⇒第6位	2750.8	1993/11～1994/10	10	2001/11～2002/10	11	
第1位⇒第7位	2752.3	1993/11～1994/10	10	2004/11～2005/10	11	★
第1位⇒第8位	2763.1	1993/11～1994/10	10	1991/11～1992/10	11	★

表 5-7 蓋然性を考慮した降水量の組合せ（降水量多⇒降水量少）

組合せ	降水量の合計	対象期間	終期	対象期間	始期	蓋然性
第2位⇒第1位	2328.2	1977/11～1978/10	10	1993/11～1994/10	11	
第3位⇒第1位	2424.6	1983/11～1984/10	10	1993/11～1994/10	11	
第3位⇒第2位	2530.5	1983/11～1984/10	10	1977/11～1978/10	11	
第4位⇒第1位	2548.3	1999/11～2000/10	10	1993/11～1994/10	11	
第4位⇒第2位	2654.2	1999/11～2000/10	10	1977/11～1978/10	11	
第5位⇒第1位	2745.8	2008/11～2009/10	10	1993/11～1994/10	11	★
第4位⇒第3位	2750.6	1999/11～2000/10	10	1983/11～1984/10	11	★
第6位⇒第1位	2750.8	2001/11～2002/10	10	1993/11～1994/10	11	
第7位⇒第1位	2752.3	2004/11～2005/10	10	1993/11～1994/10	11	
第8位⇒第1位	2763.1	1991/11～1992/10	10	1993/11～1994/10	11	

(5) ケース 4（過去の渇水時に台風による回復が行われなかった場合）

過去の渇水記録（2003 年～2013 年）から、貯水量の最小値の第 1 位から順に、台風による貯水量の回復の有無を確認する。台風によりダムの貯水量が回復したケースを抽出し、台風が来なかった場合を想定すると、年間降水量は 2005 年の 1,243mm であり、この台風による降水量を除いた降水条件をケース 4 として選定した（年間降水量は 1,614mm で、台風による降水量は 371mm）。

なお、2013 年の台風 17 号については、それ以前の降雨により、貯水量が回復していたので、対象外とした。

順位	貯水量最小値(千 m^3)	最小となった日	台風
1位	3707	10月1日	なし
2位	4010	7月1日	なし
3位	4313	8月22日	台風17号
4位	5015	9月4日	台風14号

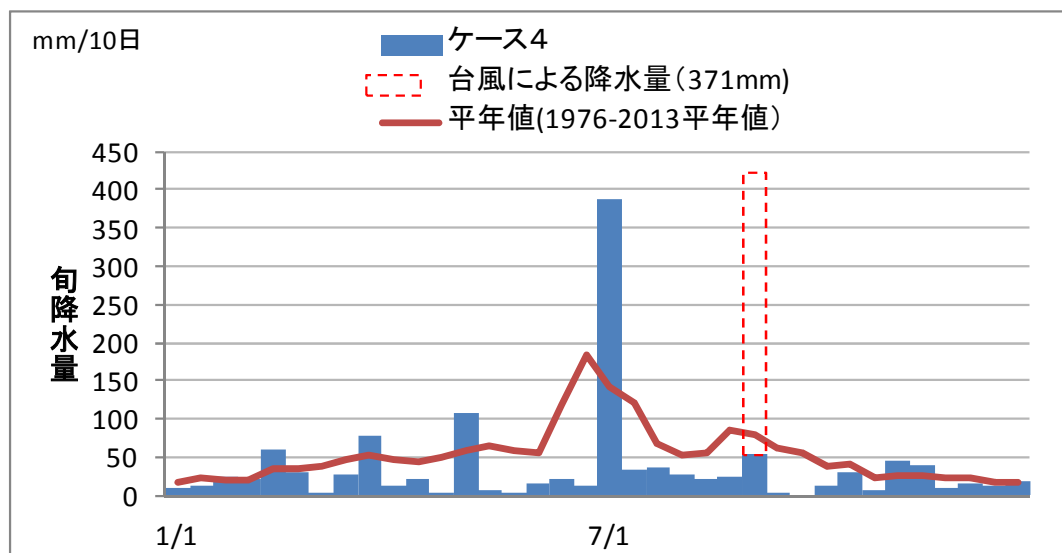


図 5-5 旬降水量（2005 年）

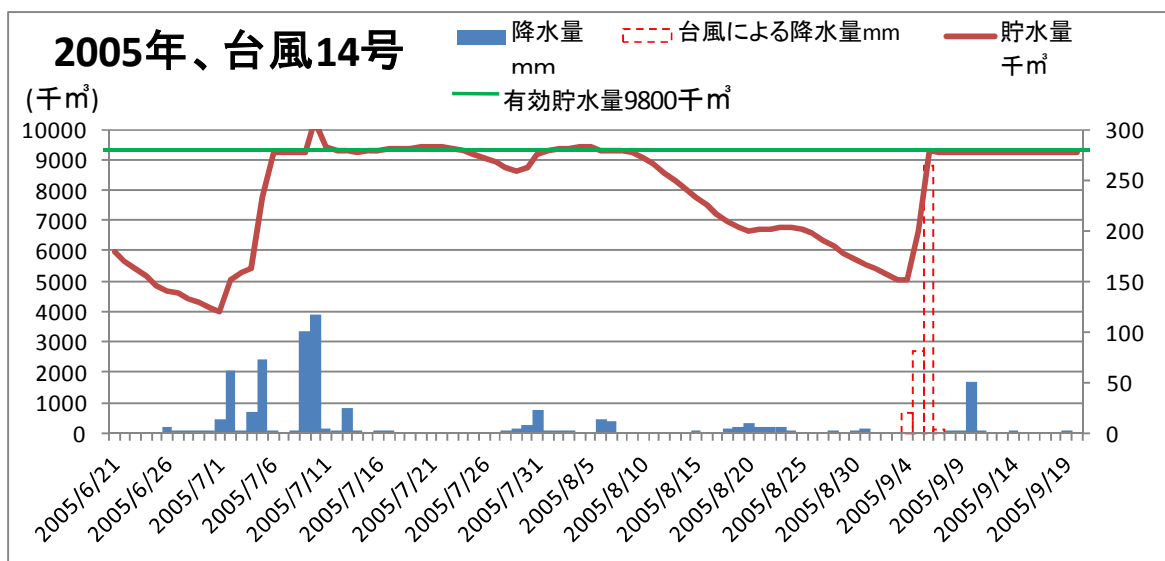


図 5-6 降水量及びAダム貯水量（2005 年 6 月～9 月）

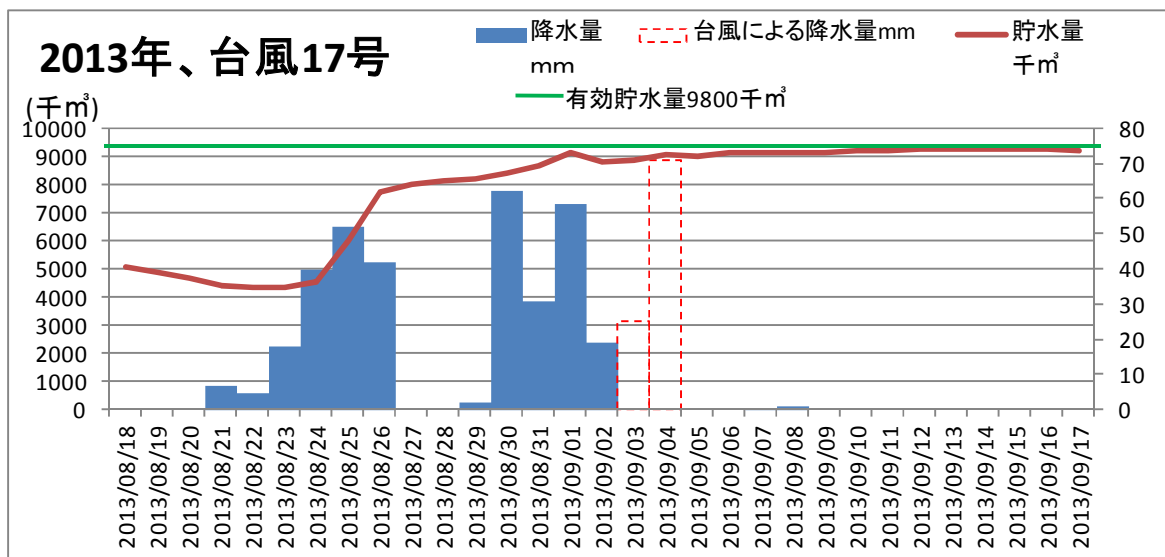


図 5-7 降水量及びAダム貯水量（2013 年 8 月～9 月）

5.1.2. 危機的な渇水の状況設定（流量）

危機的な渇水の状況設定（降水量）のケース0～4に対するダム流入量、基準点流量を算定する。算定方法は、分布型流出モデル等を用いた流出計算による方法と実測流量から算定する方法があるが、モデル水系では既存の流出計算モデルが無いことから、実測の流量データを用いた算定方法とする。

利水基準点の流量については、実測流量にダム操作量を戻したダム無し流量として設定する。

ダムの流入量については実測流量を用いるが、ダム建設前等で実測流量の観測データがない期間は、基準点の比流量から算定する。

○比流量によるダム流入量の算定

ダム地点の実測流量がある期間について、基準点上流の流域面積とダム地点上流の流域面積の比率を基準点の実測流量に掛けたものをダム地点の計算流入量として算出する。

計算流入量と実測流入量の相関をとり、ダム地点の実測流入量が無い期間の流入量を算出する。

（この検討事例では、入手出来たダムの流入量データが2003年から2013年までであったため、それ以前の流入量はこの手法により計算している。）

$$A \text{ ダム流入量} = 0.7996 \times (\text{計算流入量} : \text{基準点流量} \times \text{流域面積比})$$

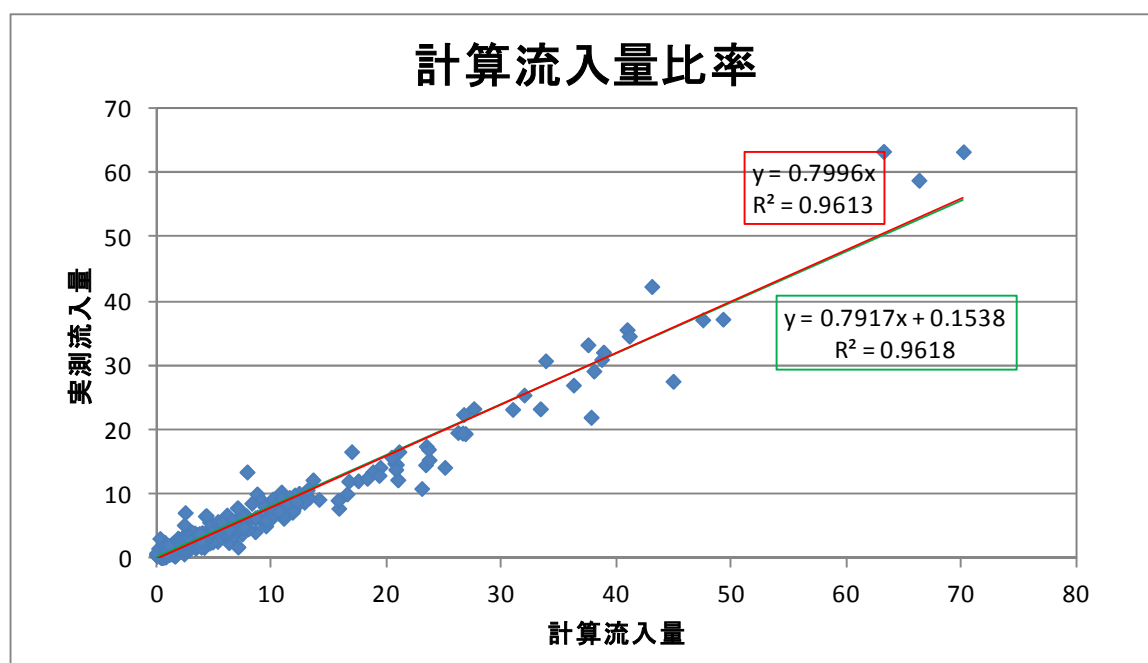


図 5-8 A ダム流入量と計算流入量（基準点流量×流域面積）との相関

(1) ケース 0

選定した降水期間（1994 年）における流量を以下に示す。なお、A ダム の流入量については、基準点の比流量から算定している。

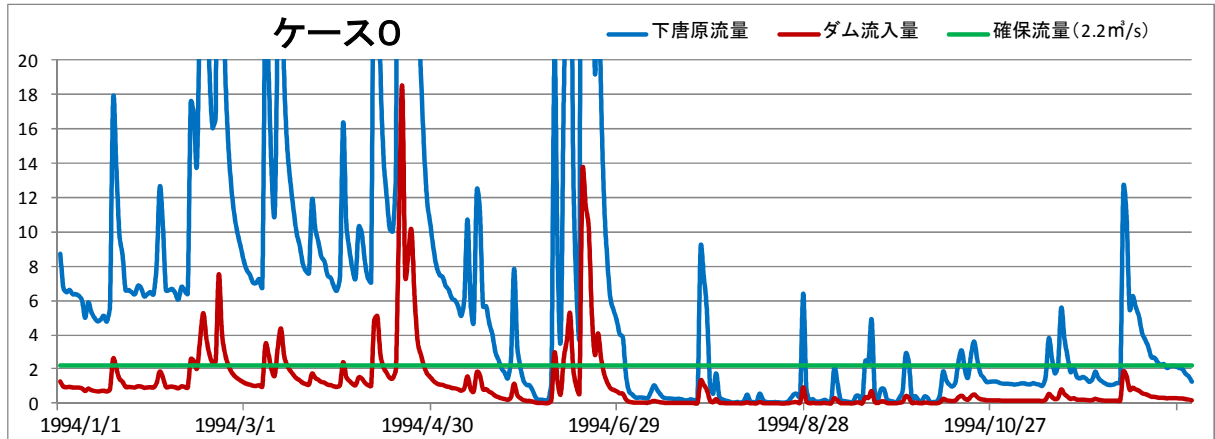


図 5-9 A ダム流入量及び基準点流量（ケース 0）

(2) ケース 1

選定した降水期間（1994 年 5 月～1995 年 4 月）における流量を以下に示す。なお、A ダム の流入量については、基準点の比流量から算定している。

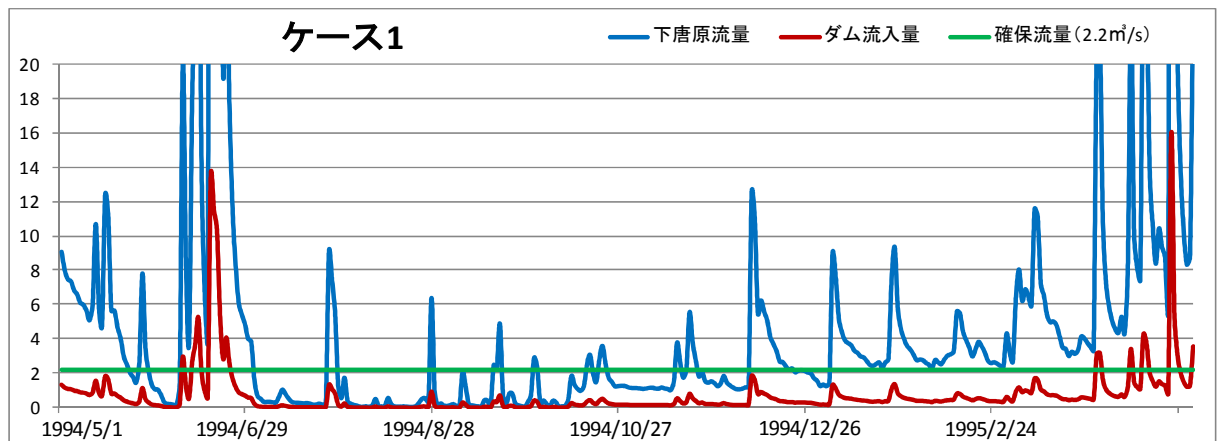


図 5-10 A ダム流入量及び基準点流量（ケース 1）

(3) ケース 2

選定した降水の組合せの期間（1983 年 11 月～1984 年 4 月と 1994 年 5 月～10 月を連続）における流量を以下に示す。なお、A ダム流入量については、基準点の比流量から算定している。

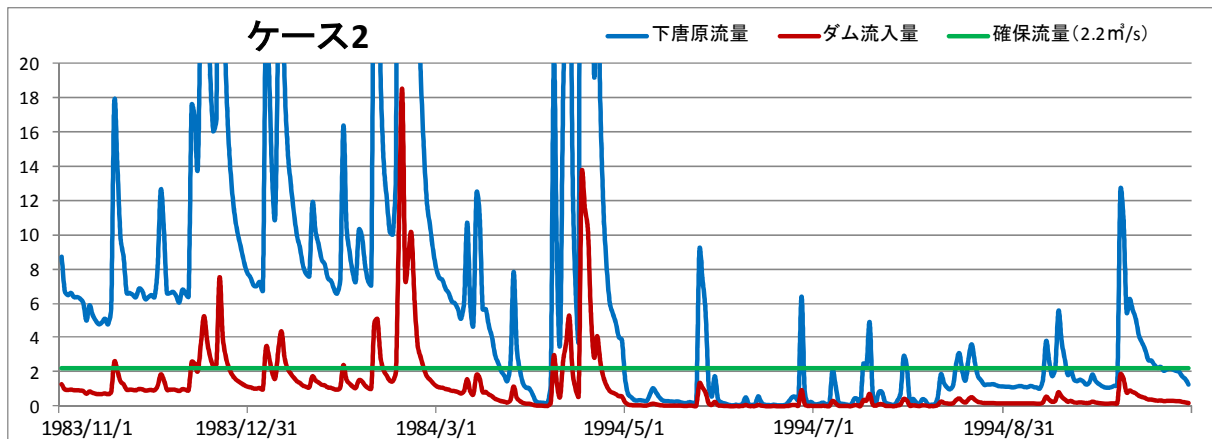


図 5-11 A ダム流入量及び基準点流量（ケース 2）

(4) ケース 3

選定した降水の組合せの期間（1993 年 11 月～1994 年 10 月と 1977 年 11 月～1978 年 10 月を連続）における流量を以下に示す。なお、A ダムの流入量については、基準点の比流量から算定している。

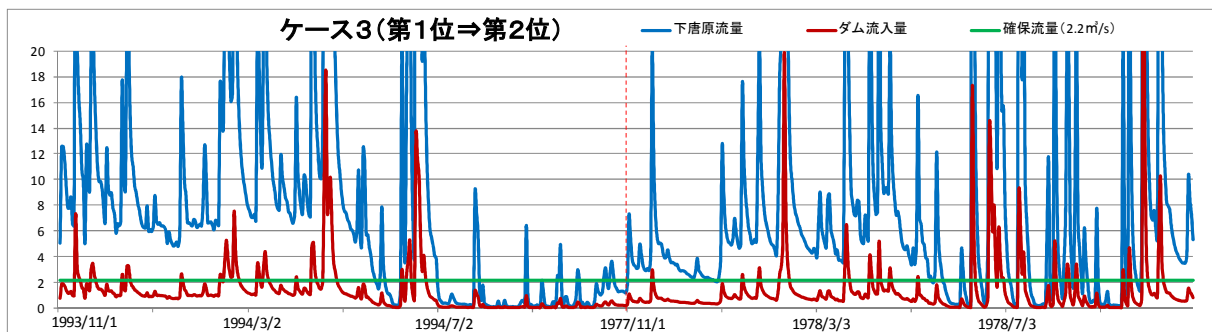


図 5-12 A ダム流入量及び基準点流量（ケース 3）

(5) ケース 4

選定した降水期間（2005 年）における流量を以下に示す。なお、台風 14 号が来なかった場合を想定した流量については、台風により流量が増減する期間（ダム流入地点：9/5～9/17、基準点：9/4～9/28）を抽出し、その間の流量を台風により増加する直前の日流量（一定値）に置き換えることとした。

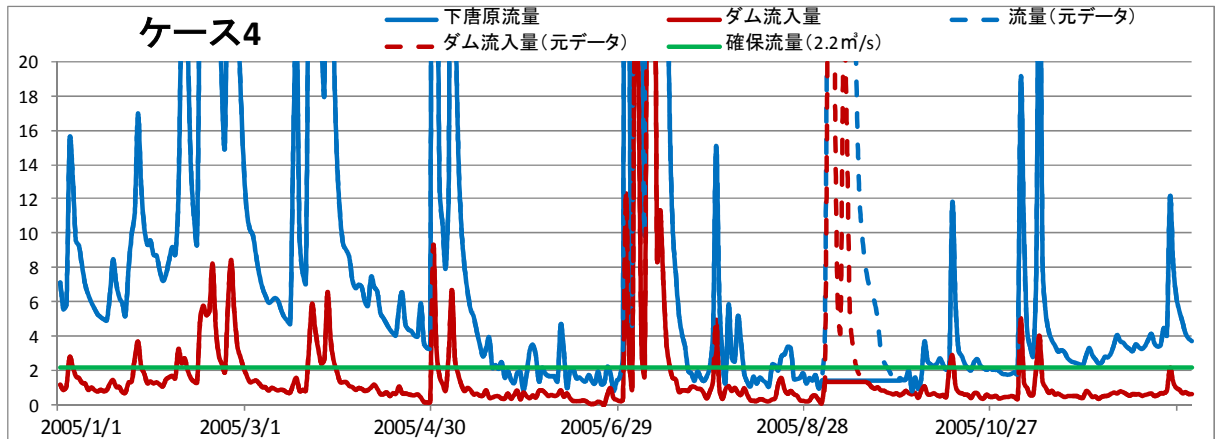


図 5-13 A ダム流入量及び基準点流量（ケース 4）

5.1.3. モデル水系の水運用モデルの検証

危機的な渇水の状態設定（流量）のケース0～4に対するダム貯水量を算定する。算定にあたっては、利水計画立案の際に用いた利水計算モデルがあれば、それを用いることも可能である。ここでは事例として、河川流量・水需要（確保量）からダム等の貯留、補給を設定した簡易な水運用モデルを作成して計算（半旬単位）している。

新たにモデルを構築する場合、実測流量によるモデルの検証が必要である。計算結果より、2006年10月～2007年3月については、実績との開きがあるが、その他の期間については、貯水量の再現性が高いことから、本モデルは妥当と判断した。

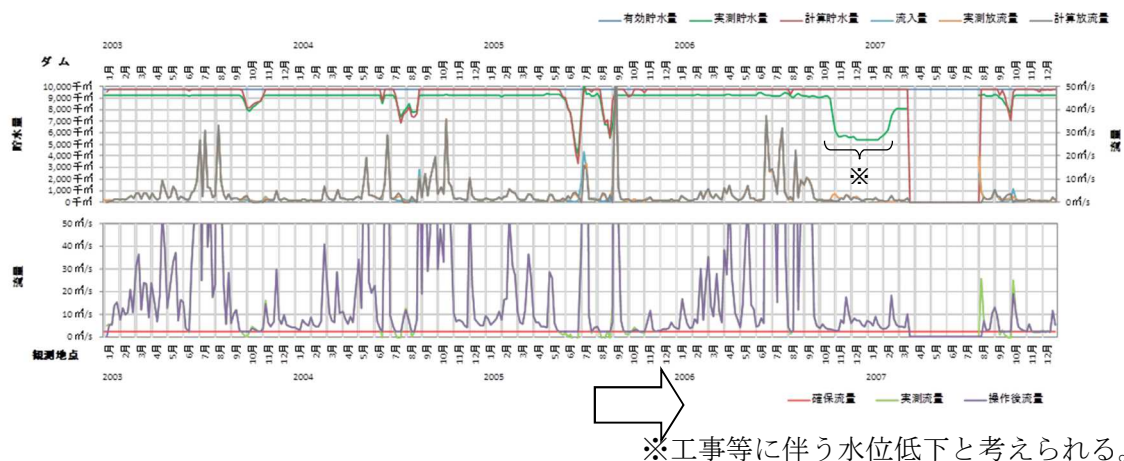


図 5-14 モデルの検証結果

5.1.4. モデル水系における危機的な渇水の設定

5.1.2 で算出したダム流入量、基準点流量を基に、河川流量・水需要（確保量）から 5.1.3 で構築した簡易な水運用モデルによる計算からダム貯水量を算定する。

ダム貯水量が最小となるケースを危機的な渇水として選定する。

算定結果を以下に示す。

なお、水運用計算の計算条件は以下のとおりとする。

- ・ 流域の水需要量（取水地点、量、期間）は、現在の水需要量（実績値）とする。
- ・ 計算開始時のダムの貯水量は、各ケースとも満水（常時満水位）とする。
- ・ ダム貯水量の最小値を求めるため、ダムが枯渇（貯水量が 0 m³）後、ダム下流の流況が改善する降水があるまでの間の不足量を計算する。

(1) ケース0

ケース0におけるAダム貯水量、ダム流入量、基準点の流量を以下に示す。ダム貯水量の最低値は、1994年10月第4半旬の-3,772千 m^3 であった。

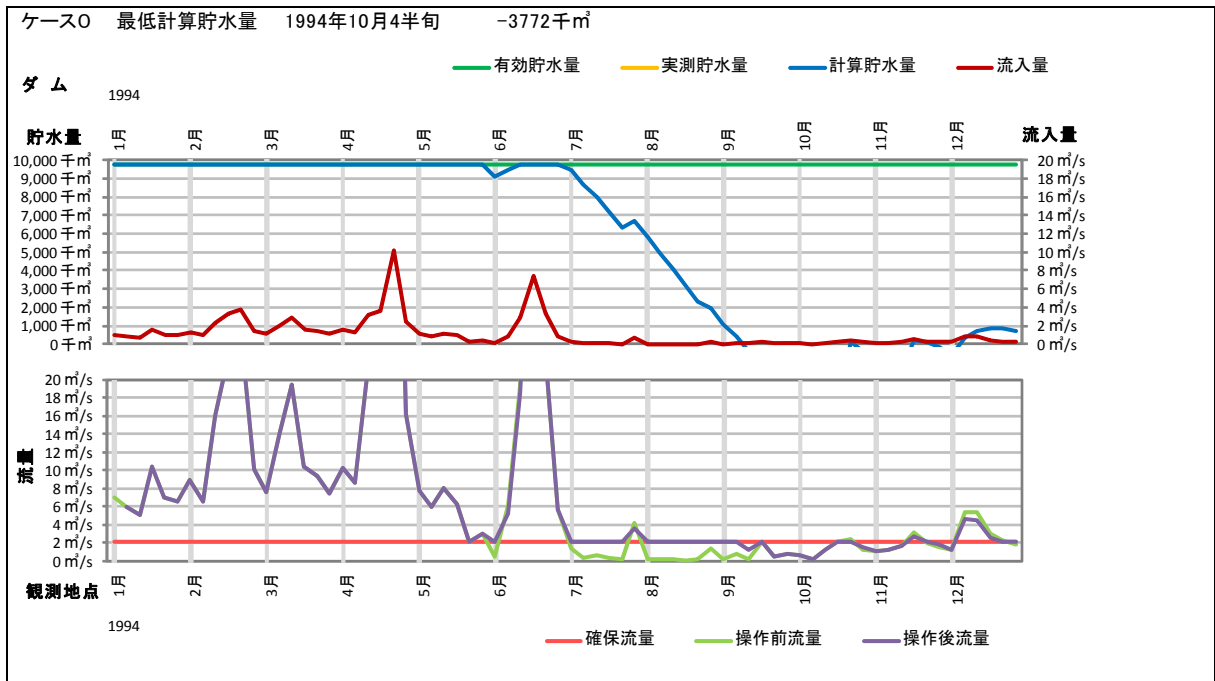


図 5-15 Aダム貯水量、流入量及び基準点流量（ケース0）

(2) ケース1

ケース1におけるAダム貯水量、ダム流入量、基準点の流量を以下に示す。ダム貯水量の最低値は、ケース0と同様、1994年10月第4半旬の-3,772千 m^3 であった。

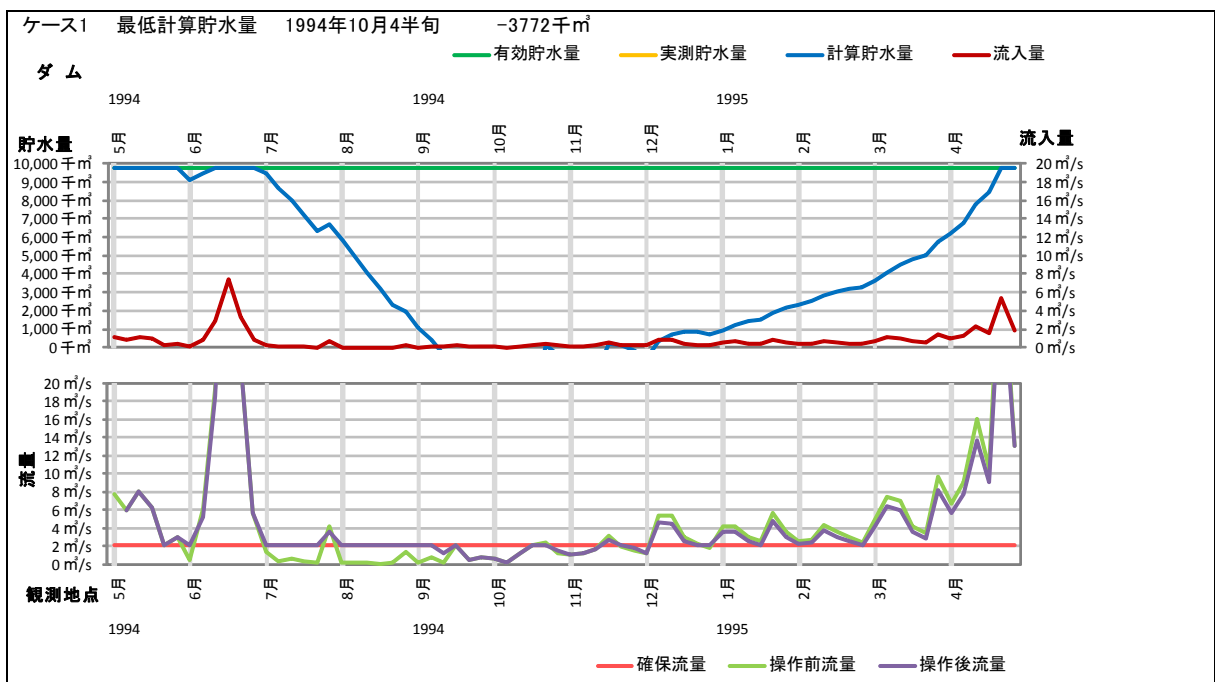


図 5-16 Aダム貯水量、流入量及び基準点流量（ケース1）

(3) ケース 2

ケース 2 における A ダム貯水量、ダム流入量、基準点の流量を以下に示す。ダム貯水量の最低値は、ケース 0、ケース 1 と同様、1994 年 10 月第 4 半旬の $-3,772 \text{ 千 m}^3$ であった。

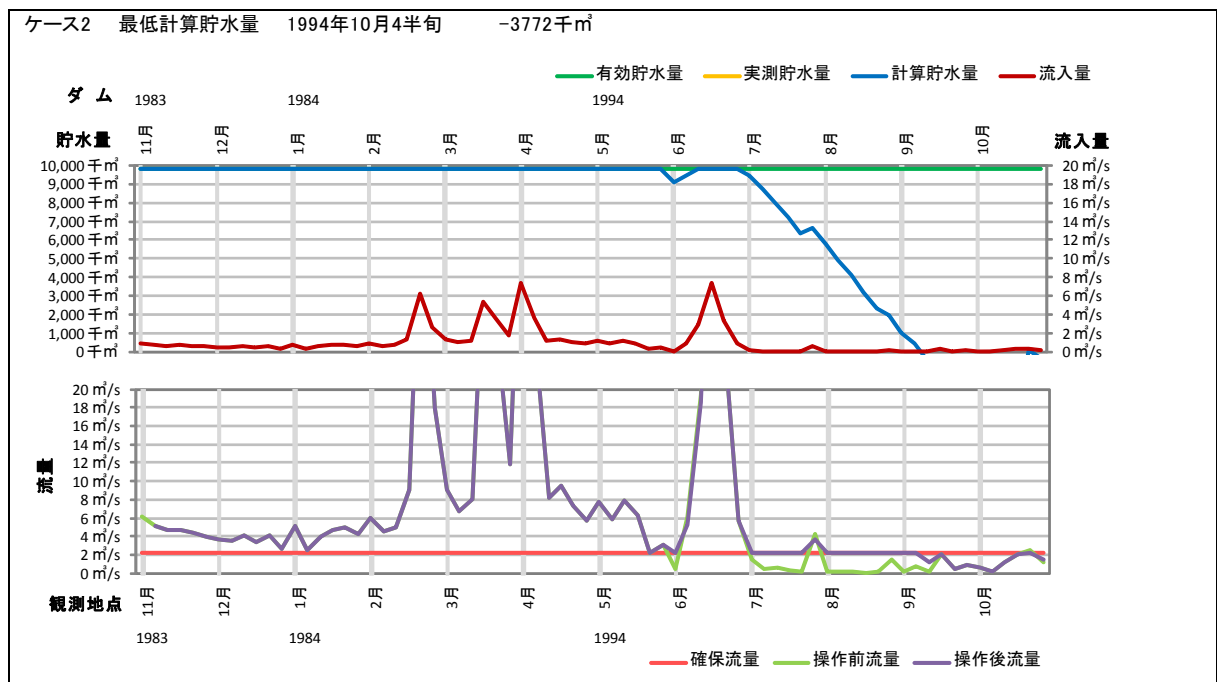


図 5-17 A ダム貯水量、流入量及び基準点流量（ケース 2）

(4) ケース 3

ケース 3 における A ダム貯水量、ダム流入量、基準点の流量を以下に示す。ダム貯水量の最低値は、ケース 0～2 と同様、1994 年 10 月第 4 半旬の $-3,772 \text{ 千 m}^3$ であった。

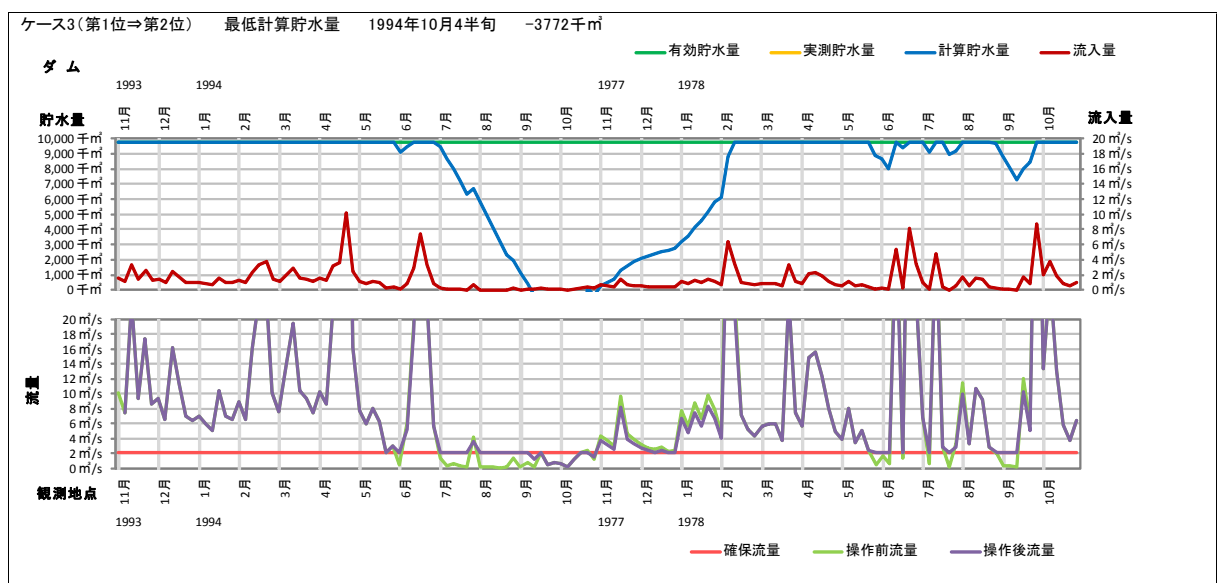


図 5-18 A ダム貯水量、流入量及び基準点流量（ケース 3）

(5) ケース 4

ケース 4 における A ダム貯水量、ダム流入量、基準点の流量を以下に示す。ダム貯水量の最低値は、2005 年 10 月第 1 半旬の $-2,227 \text{ km}^3$ であった。

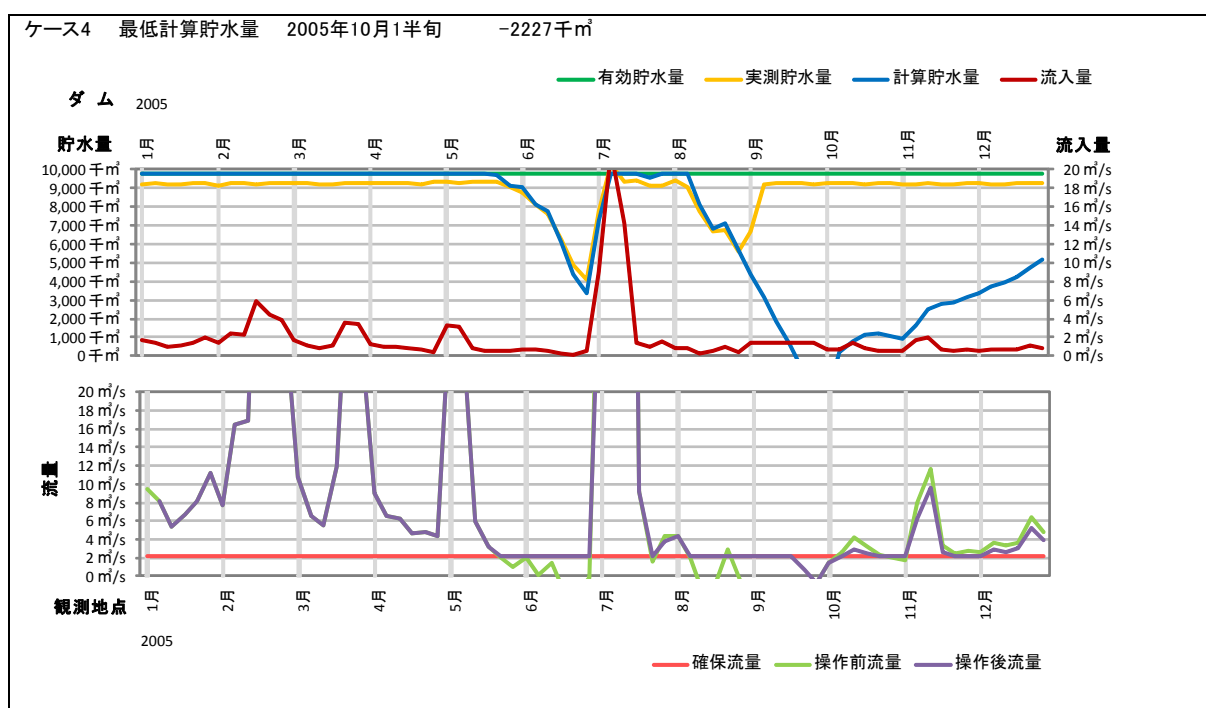


図 5-19 A ダム貯水量、流入量及び基準点流量（ケース 4）

5.1.5. 渇水に関する想定最大外力の設定

水運用計算による各ケースの A ダム貯水量の最低値、年間降水量を以下に示す。

ダム貯水量が最低（不足量が最大）となるケース 0～ケース 3 が、危機的な渇水に該当し、その中で年間降水量が最小となるのは、ケース 2 である。

危機的な渇水については、ケース 2 とし、渇水に関する想定最大外力は、 916 mm である。

なお、年降水量の最小値（ケース 0）に対するケース 2 の割合は、 89% である。

表 5-8 水運用計算による各ケースの計算結果

	ダム貯水量	降水量（12 ヶ月間）	年降水量の最小値に対する割合
ケース 0	$-3,772 \text{ km}^3$	$1,025 \text{ mm}$	—
ケース 1	$-3,772 \text{ km}^3$	952 mm	92.9%
ケース 2	$-3,772 \text{ km}^3$	916 mm	89.4%
ケース 3	$-3,772 \text{ km}^3$	$2,328 \text{ mm}/2 \text{ 年}$	—
ケース 4	$-2,227 \text{ km}^3$	$1,243 \text{ mm}$	121.3%

この事例では、ケース 0～3 についてダムが枯渇する期間が 1994 年の 9 月から 10 月までの同じ期間であったため、ダム貯水量（不足量）が同量となっている。

5.2. 設定手法②：水運用計算からダム貯水量の組み合わせにより設定する方法

設定手法②の具体の検討手法について、モデル水系の事例を以下に示す。

モデル水系は、Aダムと基準点の1ダム1基準点と簡易な構成であることから、この設定手法によることが可能である。

5.2.1. 流量の算定

ダムの流入量、基準点流量を算定する。算定方法は、分布型流出モデル等を用いた流出計算による方法と実測流量から算定する方法があるが、モデル水系では既存の流出計算モデルが無いことから、実測の流量データを用いた算定方法とする。

利水基準点の流量については、実測流量にダム操作量を戻したダム無し流量として設定する。

ダムの流入量については実測流量を用いるが、ダム建設前等で実測流量の観測データがない期間は、基準点の比流量から算定する。

○比流量によるダム流入量の算定

ダム地点の実測流量がある期間について、基準点上流の流域面積とダム地点上流の流域面積の比率を基準点の実測流量に掛けたものをダム地点の計算流入量として算出する。

計算流入量と実測流入量の相関をとり、ダム地点の実測流入量が無い期間の流入量を算出する。

(この検討事例では、入手出来たダムの流入量データが2003年から2013年までであったため、それ以前の流入量はこの手法により計算している。)

$$A \text{ ダム流入量} = 0.7996 \times (\text{計算流入量} : \text{基準点流量} \times \text{流域面積比})$$

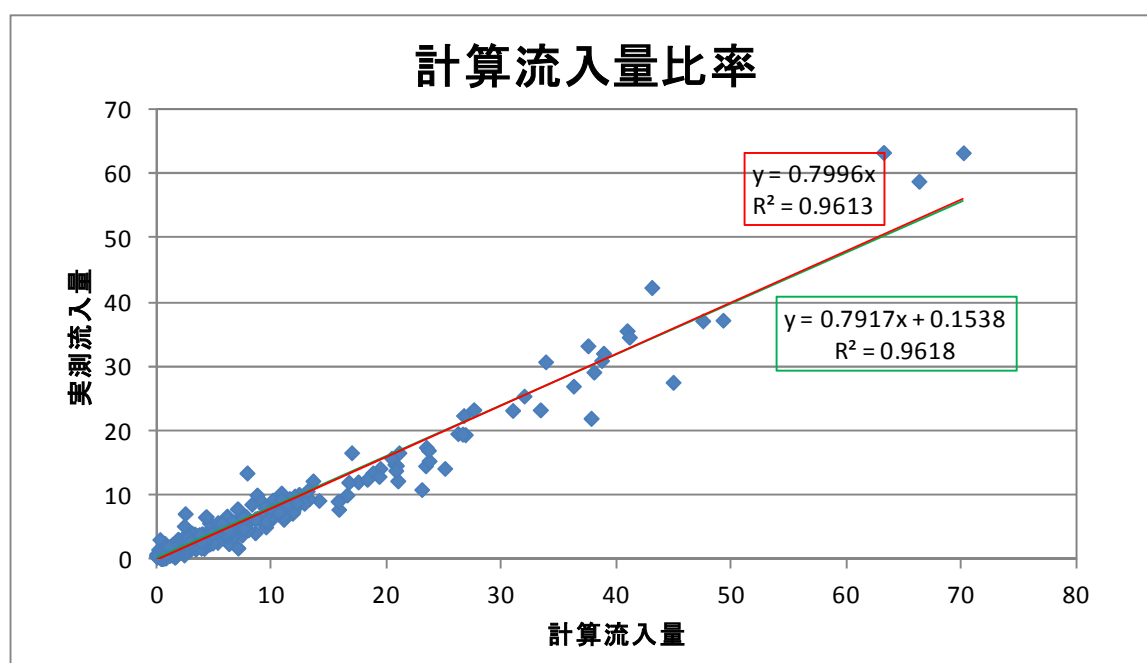
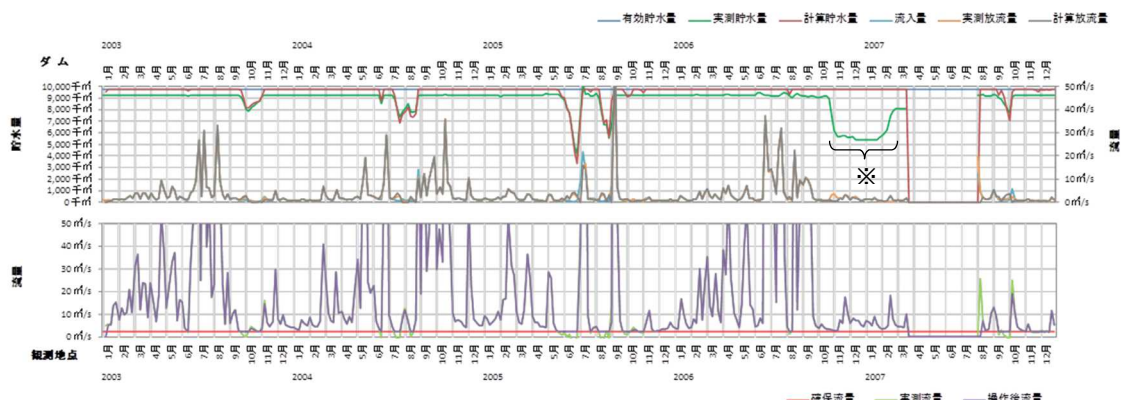


図 5-20 Aダム流入量と計算流入量（基準点流量×流域面積）との相関図

5.2.2. モデル水系の簡易水運用計算の検証

水運用計算によりダムの貯水量を算定する。算定にあたっては、利水計画立案の際に用いた利水計算モデルがあれば、それを用いることも可能である。ここでは事例として、河川流量・水需要（確保量）からダム等の貯留、補給を設定した簡易な水運用モデルを作成して計算（半旬単位）している。

新たにモデルを構築する場合、実測流量によるモデルの検証が必要である。計算結果より、2006年10月～2007年3月については、実績との開きがあるが、その他の期間については、貯水量の再現性が高いことから、本モデルは妥当と判断した。



※工事等に伴う水位低下と考えられる。

図 5-21 モデルの検証結果

5.2.3. 簡易水運用計算

基準点の河川流量が整理されている初年をスタートに、収集したデータの全期間における連続の簡易水運用計算を実施し、過去最も厳しい渇水年（最大渇水年）を設定する。

計算開始時点の貯水位は満水からスタートする。

モデル水系における観測開始からの水運用計算結果の抜粋を示す。

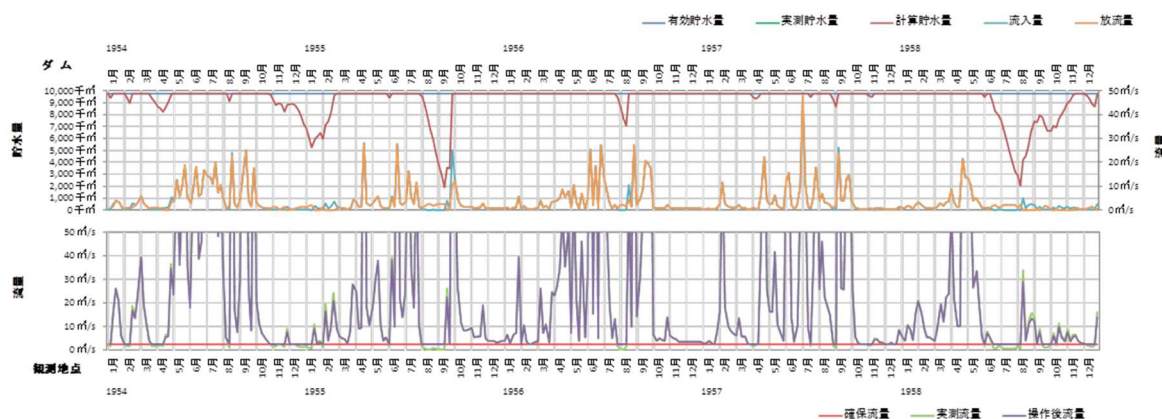


図 5-22 水運用計算結果（抜粋）

5.2.4. 渇水に関する想定最大外力の設定

この計算事例において最大渇水年となったのは 2005 年であったが、蓋然性を担保した組合せはなく、蓋然性を確保した組合せによる水運用計算では、2 番目に厳しい 1958 年 7 月と 1969 年 8 月の組合せ（赤点線）が最も厳しい渇水状況となるため、これを危機的な渇水とし、この期間の降水量及び河川流量を渇水に関する想定最大外力とする。

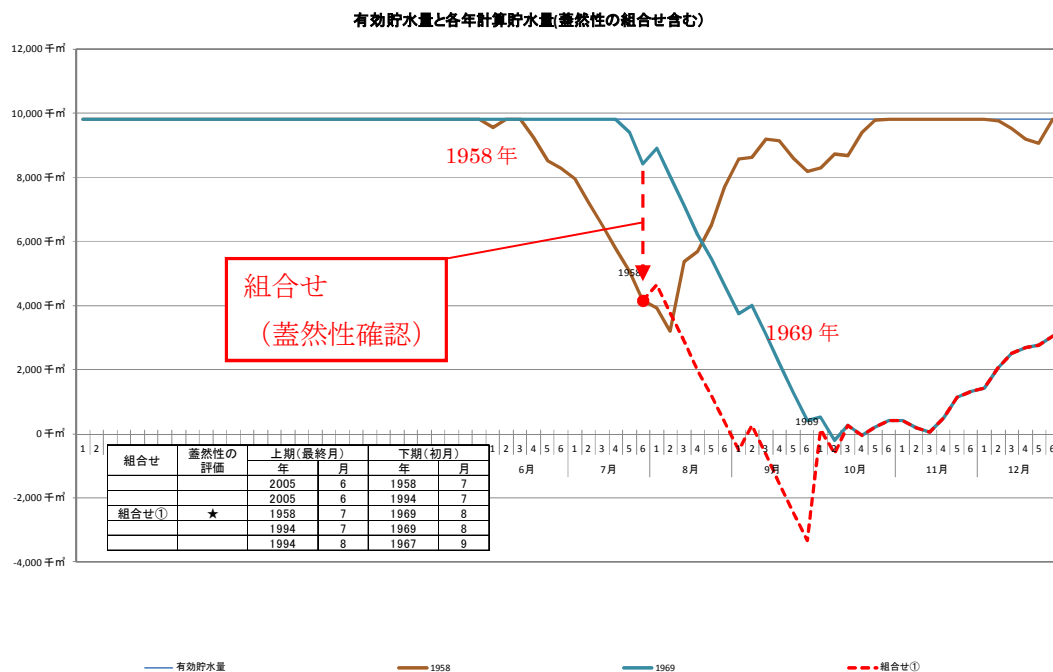


図 5-23 貯水量の組合せによる計算結果

1958 年 7 月と 1969 年 8 月の組合せによるダム貯水量は約 3, 200 千 m^3 不足と計算された。

設定手法①において、ケース 2 のダム貯水量が 3, 772 千 m^3 の不足が最大となるため、モデルの想定最大外力の設定は、設定手法①のケース 2 を採用することになる。

巻末資料

(蓋然性が担保された組合せ一覧表)

○ 設定手法①のケース 2、ケース 3 及び設定手法②において蓋然性を確認する手順

設定手法①のケース 2 の場合 冬季（1 1 月～4 月）の降水量が最小の期間を抽出し、接続開始年月をその期間の 4 月とする。また、夏季（5 月～1 0 月）の降水量が最小の期間を抽出し、接続開始年月日を 1 0 月とする。

設定手法①のケース 3 の場合 年間降水量が一番少ない年（1 1 月～1 0 月）を抽出し、接続開始年月をその期間の 1 0 月とする。

それぞれのケースの接続開始年月（4 月あるいは 1 0 月）に続ける年月（5 月あるいは 1 1 月）を抽出し、蓋然性が担保された組合せの一覧表から蓋然性を確認する。

設定手法②の場合、最大の渇水が発生した年を抽出し、さらにその年以外の年で、特に補給量の多い年（期間）を複数抽出し、蓋然性が担保された組合せの一覧表から蓋然性を確認して組み合わせる。

組み合わせるときの接続月は、〇〇年の 7 月と××年の 8 月、〇〇年の 8 月と△△年の 9 月というように月が連続するようにして設定し、蓋然性が確認出来ればいつでも良いが、出来るだけ厳しい渇水が発生するように考慮する。

○ 蓋然性が担保された組合せの一覧表の見方

異なる年の降水量、ダム貯水量の接続可能性について、蓋然性が担保された組合せの一覧表を次頁以降に示す。表の 3 行目の各セルの数値については、西暦の下 2 桁を示している。2 列目以降の各列は、同一行の 1 列目のセルに記載されている月の翌月としている。表中の各セルは、同一行の 1 列目のセルに記載されている年月と接続させる年（同一列の 3 行目に記載）の翌月との組合せを表したものであり、黒の網掛けされているセルの組合せが、蓋然性が担保されていることを示している。

例えば、図 5-24 では 1930 年 4 月の行の各セルは、各年の 5 月の組合せを示している。

1932 年のセル（下表の赤枠）は黒の網掛けがされており、蓋然性が担保されていることを示していることから、1930 年 4 月と 1932 年 5 月の降水量、ダム貯水量については、接続可能として取り扱うこととする。

(例) 1930 年 4 月と各年 5 月の組合せ

降雨パターン前期 (最終月)	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
1930年1月												
1930年2月												
1930年3月												
1930年4月												
1930年5月												
1930年6月												
1930年7月												
1930年8月												
1930年9月												
1930年10月												
1930年11月												
1930年12月												
1931年1月												
1931年2月												
1931年3月												
1931年4月												
1931年5月												

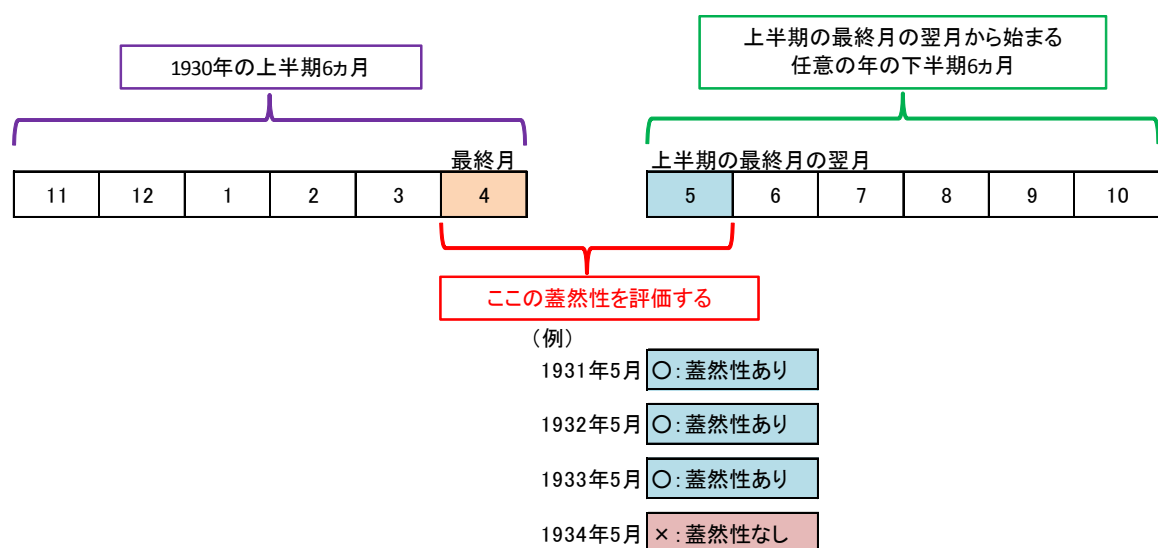


図 5-24 randomness の確認方法

【蓋然性の評価】（気象庁気象研究所気候研究部仲江川第五研究室長のご提案による）

渇水の想定最大外力の設定にあたっては、異なる年の降水量、あるいはダム貯水量を組み合わせ危機的な渇水状況を検討する。このとき、異なる年の降水量、あるいはダム貯水量の組合せが、気候学的に実際に起こりえなくはない現象（蓋然性）であることを検証する必要がある。具体的には、異なる年の接続可能性について、接続期間におけるエルニーニョ/ラニーニャ現象や南方振動の発生状況を、気象庁データを基に確認して、異なる年を連続させる際の蓋然性を評価する（なお、以下では、異なる年の接続させる月について、前半の最終月を前期最終月、後半の先頭月を後期先頭月という）。

以下に評価方法を示す（水温の元データは、月平均値を用いる）。

- A) 異なる年を連続させる際の蓋然性の評価の準備として、エルニーニョ監視海域（NINO.3）、西太平洋熱帯域（NINO.WEST）、インド洋熱帯域（IOBW）における各海域の「海面水温」、「海面水温(a)と基準値 ((a)の測定年の前年から 30 年前までの間の同一月の海面水温の平均値) との差」、および「南方振動指数 ((TAHITI と DARWIN)の地上気圧の差を指数化したもの)」について、月別の値及び 3 ヶ月平均値を算出する。
- B) 異なる年を接続させた場合の値（差分）と各監視海域の過去 30 年間の統計値（差分の最大値）との比較により、蓋然性を評価する。具体的には、前期最終月と後期先頭月を接続させた場合の「海面水温」、「基準値との差」、「南方振動指数」の月の値や 3 ヶ月平均値の差分が、これら 3 項目の過去 30 年間の差分（前期最終月を含む過去 30 年間分の当該月と翌月との差分）の最大値以下となっている場合に、蓋然性が担保されたと評価する（14 の評価指標を全て満たした場合、蓋然性が担保されていると判断）。

例) 海面水温（月別）については以下の判定式を用いている。

前期最終月の海面水温と後期先頭月の海面水温の差……………①

過去 30 年間の前期最終月と同月の海面水温と翌月の海面水温の差…②

判定式：① ≤ (②の最大値)

※蓋然性が担保された組合せについては、次頁の一覧表を参照すること。

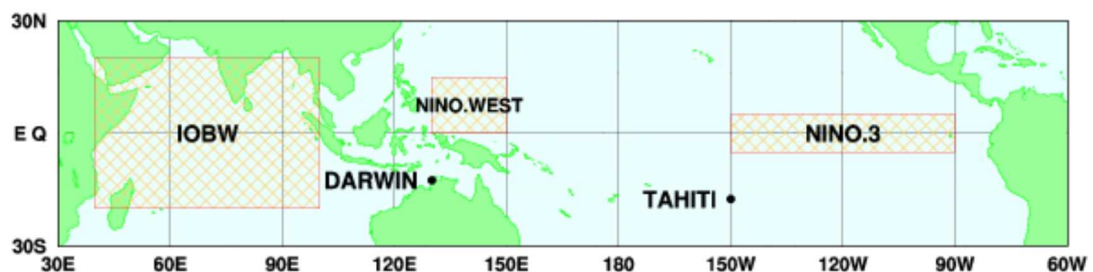


図 5-25 エルニーニョ監視海域の位置

※南方振動指数はタヒチとダーウィン(TAHITI と DARWIN)の地上気圧の差を指数化したもので、貿易風の強さの目安の 1 つであり、正（負）の値は貿易風が強い（弱い）ことを表している。

気象庁 HP 参照 <http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/index/dattab.html>

[illegible]

[illegible]

[illegible]

