

# 気候変動による河川流量の変化について

国土技術政策総合研究所 河川研究部水資源研究室 研究官 土屋 修一

## 1. はじめに

IPCCがまとめた第4次評価報告書<sup>1)</sup>によると、想定されるシナリオによる程度差があるものの地球温暖化は今後も進行し、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。渇水に対する適応策を実際に検討して行く上では、詳細な水運用を考慮できる評価モデルが必要となるが、その前段階として全国の流域を対象に渇水に対する脆弱性を評価し、適応策を施す必要性の高い地域を抽出する事が不可欠である。そのためには、詳細なモデルである必要はなく、どのような流域においても構築可能なモデルであり、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、全国を同一の指標で評価するためにも客観的にモデル係数が設定できることが望まれる。上記要件を踏まえた流出モデルについて、既往観測データから構築し、融雪、非融雪地域における将来の河川流量を推算した。気候変動による気温、降水量変化による河川流量の変化について、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。

## 2. 流出モデル概要

渇水が数ヶ月単位の現象であることから月単位の流出計算として、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構築する。小流域単位での月降水量と月流量の関係を線形近似し、その式を用いて降雨による流出量を算定した。積雪・融雪地域のKダム流域における降水量と流量の関係について図-1に示す。融雪期(3月～5月)を除いて、月平均降水量が4.5[mm/h]を閾値として勾配が変化していることがわかる。渇水に関係する流量として低水流量を算定する上で流量が少ないところでの精度が重要となるために、月平均降水量4.5[mm/h]を境にして、別々に関係式を導出した。長期流出や低水流量についての流出モデルに、タンクモデルが広く扱われているが、タンクの設定やパラメータ同定など流域に応じて、試行錯誤的に決定していかなければならない。この関係式を用いることにより、非常に簡易にデータのばらつきの範囲の精度で現況の流量を再現することが可能となる。なお、他流域においても勾配が異なる閾値が各流域で存在し、同様

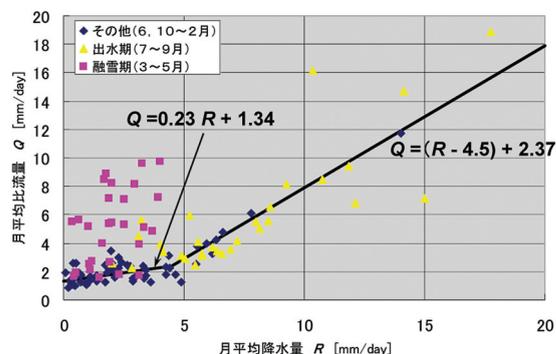


図-1 Kダム流域の降水量と流量の関係

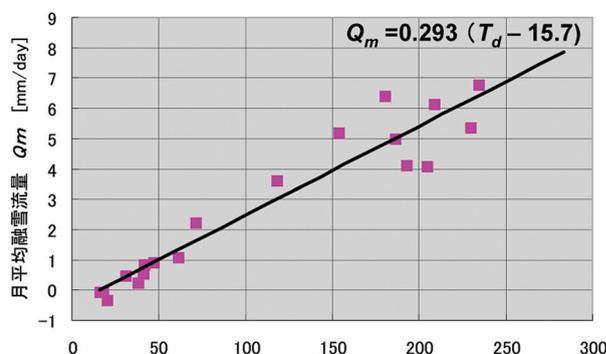


図-2 Kダム流域の積算気温と融雪流量の関係

に関係式を導出した。

## 3. 積雪・融雪計算

冬期の積雪地域の降水量は、風による降雪の補足率の低下<sup>2)</sup>や積雪分布の標高依存性<sup>3)</sup>と雨量計の配置の関係などにより、雨量計で観測される降水量はかなり過少となることが報告されている。そのためここでは、夏期(6月～11月)と冬期(12月～5月)の6ヶ月間で流出率が同じになるように、冬期の降水量を増加させ、各月の降水量に応じて配分するという補正を行った。また、降水の雨雪判別は気温0℃としている。融雪流量は、日平均気温0℃以上の積算気温と融雪流量(実測流量-降雨流出)の関係から関係式から算定することとした。Kダム流域における気温0℃以上の積算気温と融雪流量の関係を図-2に示す。なお、積雪・融雪計算に用いる気温データは対象ダム流域に最近のアメダスデータをダムサイトの標高に補正している。積算気温が180[°C·day]以下では、融雪流量とほぼ線形関係にあることがわかる。積算気温が180[°C·day]以上は、融雪末期の5月のデータが多くを占めておりデータがばら

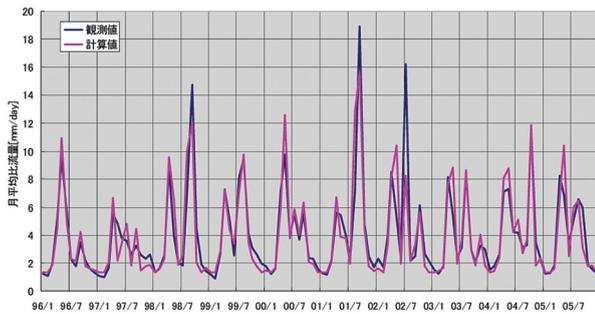


図-3 Kダム流入量の再現計算結果

ついている。これは標高の高い場所や北側斜面等で融雪がしにくい場所のから残雪が部分的に融雪するためと推察する。流出計算では、残雪量よりも融雪流量が多い場合は残雪量を融雪流量としている。融雪量の計算にはDegree-Day法が広く用いられているが、融雪係数の決定の根拠付けが難しい。また、融雪から流出に到る過程には積雪層の貯留、浸透<sup>4)</sup>といった複雑な現象が存在する。しかし、積算気温と融雪流量には関係があり、この関係式を用いて融雪流量を算定することにより、融雪から流出までの複雑な過程を含めて一括して扱うことができ、さらに実測データからこの関係を求めるため人為的な係数設定の必要がなくなる。積算気温と融雪流量の関係は、対象とした他のダムについても勾配が異なるが同様の線形関係が存在している。

#### 4. 流出の再現計算

上記の流出モデルによるKダム流域の再現計算結果について図-3に示す。計算結果は、出水期の再現性が劣っているものの低水流量、融雪出水を精度よく再現できていることがわかる。

#### 5. 積雪・融雪地域の河川流量の変化

Kダム流域の将来の降水量と気温は、気象庁気象研究所が開発した気候モデルGCM20(シナリオ:A1B)の計算結果に基づいて設定した。すなわち、降水量については計算結果から現在と将来の月別降水量の20年平均値を算定し、各月の降水量変化率を実測の月別降水量に乗じることにより設定した。同様に気温は月別平均気温の20年平均値を算定し、各月ごとの将来と現在の差分を実測の日平均気温に加えることにより設定した。Kダム流域の現在と将来の月平均降水量と月平均気温を図-4、図-5に示す。Kダム流域では、年降水量は気候変動により将来は現在より約0.97倍、月降水量は各月によって0.87~1.12倍になると推定された。また、年平均気温は約2.5℃上昇、月平均気温は各月によって1.9~2.8℃上昇すると推定された。将来の気温と降水量の変化を

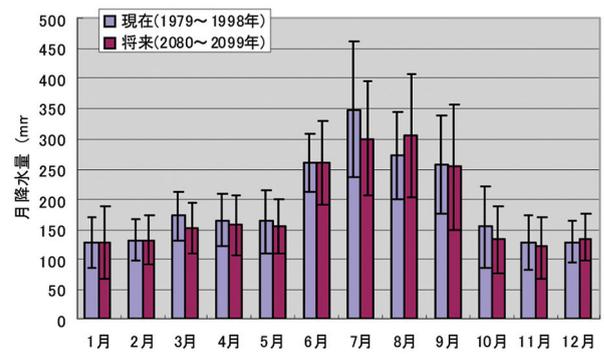


図-4 現在と将来のKダム流域の月平均降水量

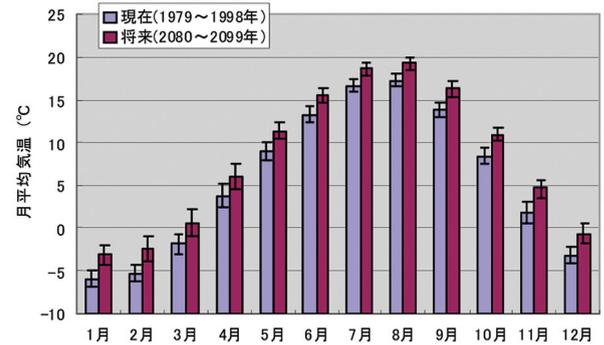


図-5 現在と将来のKダム流域の月平均気温

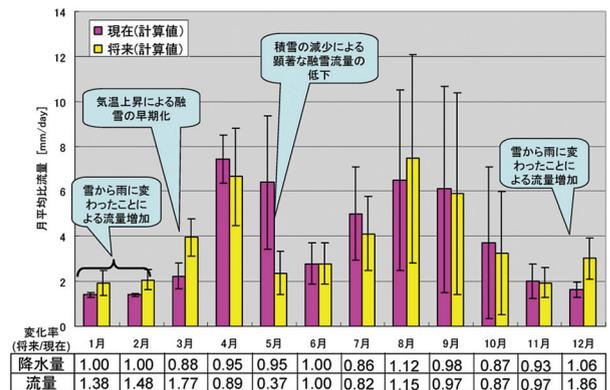


図-6 Kダム流入量の現在と将来の比較

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-6に示す。冬期(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、春期(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、春期の前半の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。

積雪・融雪地域に位置するKZ流域の現在と将来の

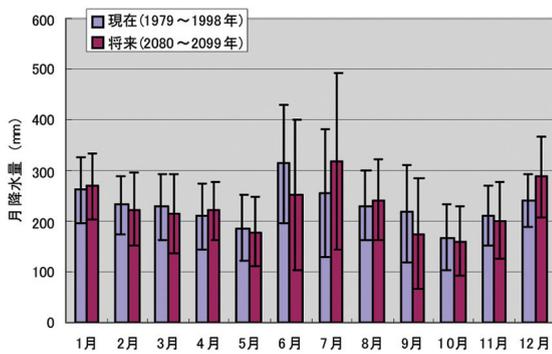


図-7 現在と将来のKZダム流域の月平均降水量

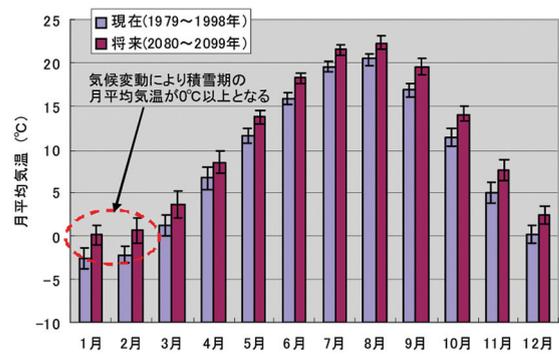


図-8 現在と将来のKZダム流域の月平均気温

月平均降水量、月平均気温を図-7、図-8に示す。KZダム流域では、月降水量は気候変動により将来は現在より各月によって0.80~1.24倍と推定された。月平均気温は1.8~2.8°C 上昇すると推定され、1月、2月の月平均気温は、現在が0°C以下であるのに対して、将来は0°C以上となっている。将来の気温と降水量の変化を考慮したKZダム流域の月別平均比流量の将来と現在との比較を図-9に示す。KZダム流域では、現在は冬期に積雪し、春期に融雪出水されているが、将来は冬期の気温が0°C以上となるため積雪していた雪がすべて降雨として流出されるため、春期の融雪出水が確認できなくなることがわかる。

以上より、冬期は気温上昇により降雪が降雨となるため流量が増加し、春季は積雪量の減少、融雪の早期化のため流量が減少することが想定される。また、KZダム流域のように将来、冬期の気温が0°C以上となる場合は、春季の融雪流量が大きく減少し、冬期に流量のピークが生じ、流況の大きな変化が想定される。

## 6. 非積雪・融雪地域の河川流量の変化

積雪・融雪がない水系のA流量観測点上流域を対象として、流域を2つのダム流域と1つの残流域として3分割して図-1と同様にそれぞれ降雨-流量関係を求めた。その内の1つのSダム流域の降雨-流量関係について図-10に示す。ここで降水量が5mm/day以下の範囲に着目すると、6~9月の総降雨量に応じて、その後の比流量が異なる傾向の降雨-流量関係を示すことが認められた。この傾向は、他の2流域についても確認された。下限と中間のライン(赤と青)の差を流量に換算すると約1.3m³/sであり、A流量観測地点における正常流量(出水期6~10月: 37m³/s, 非出水期10~6月: 20m³/s)と比較して、低水管理の上で決して小さな差ではない。このような差が生じるのは、年スケールの流出現象として、出水期に相当する6~9月の降雨量によって流

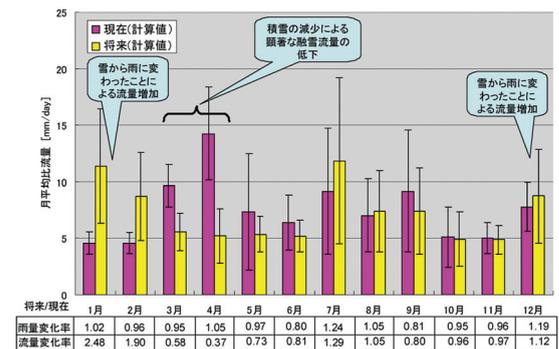


図-9 KZダム流入量の現在と将来の比較

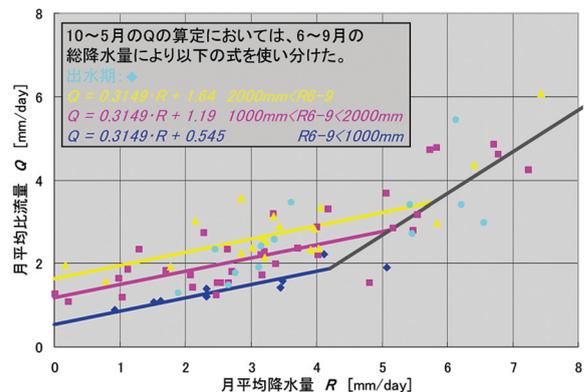


図-10 Sダム流域の降水量と流量の関係

域の保水量が変化し、その影響がその後10~5月に渡って現れるためであると推察される。各流域の降雨-流量関係を用いて算出したA流量観測地点における流量の再現計算結果について、図-11に示す。図-10に示したように6~9月の総降雨量に応じて降雨-流量関係式を使い分けることで、1994年の大洪水時の流量についても精度よく再現することができた。前記と同様にGCM20の計算結果を用いて、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-12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。

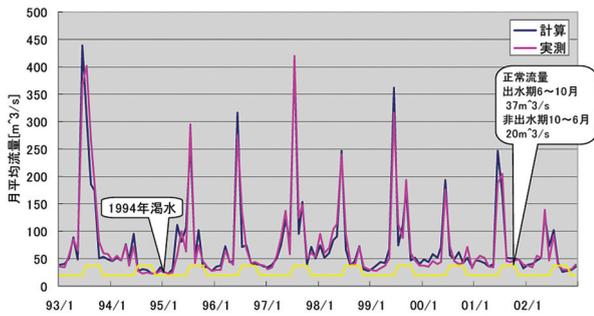


図-11 A流量観測点の再現計算結果（ダム操作なし）

## 7. まとめと考察

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<sup>5)</sup>。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い。図-2が示す関係は、気温に対する融雪の応答を示しており、この関係を把握し、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、図-13に示すように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。ただし、図-11のように出水期の降水量により、その後の非出水期の降雨-流量関係が異なる場合には、非出水期にも大きな変化が現れる可能性がある。この場合、出水期の降雨量の増減が、年間を通じた低水流量の多寡に影響を及ぼすことになり、出水期の降雨量変化の把握が重要となる。

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、気候変動によって渇水リスクが高まる地域を明らかにする。

## 参考文献

- 1) 環境省（2007）：IPCC第4次評価報告書第2作業部会。
- 2) 横山宏太郎，大野弘之，小南靖弘，井上聡，川方俊和（2003）：冬期における降水量計の捕捉特性，雪氷，65，pp. 303-316。
- 3) 塚本良則（1992）：森林水文学，文永堂出版，pp. 196-199。
- 4) 小林大二（1981）：融雪流出の遅れI，低温科学

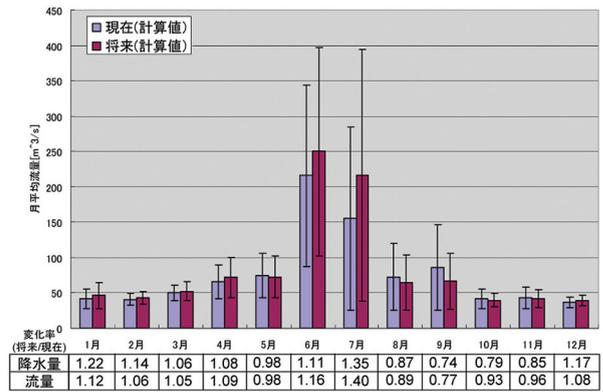


図-12 現在と将来のSダム流域の月平均降水量

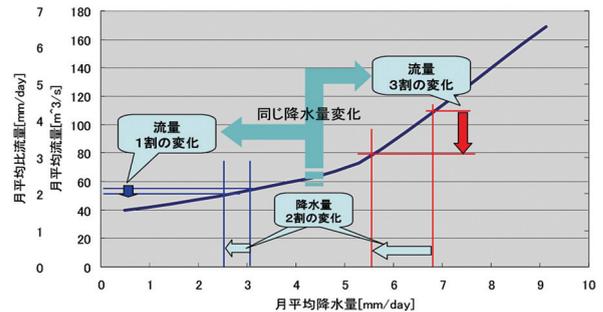


図-13 降雨-流量関係と降水量変化の関係

物理編，40，pp. 61-66。

5) 川崎将生：気候変動が水資源に与える影響評価研究調査，水文・水資源学会，pp. 64，2004。