

地球温暖化が水資源に及ぼす影響に関する考察

Comparison of Global Warming Effect on Water Resources in Various Regions

丹羽 薫*・廣瀬昌由**・宮井貴大***・天野 裕史****

By Kaoru NIWA, Masayosi HIROSE, Takahiro MIYAI and Yushi AMANO

Global warming resulting from increasing concentrations of atmospheric carbon dioxide and other trace gases may alter various hydrologic process in drainage basins. The global effects on water resources may depend on characteristic of each region, precipitation and vegetation, etc. So present flow regime is compared in three basins, which is dominated by different major phenomena, rainy season(baiu), typhoon and snow accumulation and melt. On some scenarios, sensitivity of water resources is evaluated at each basin by an index of dam necessary capacity to secure necessary flow at downstream point to examine global warming effects and the differences are compared in three basins.

Keywords: global warming, water resources, regional comparison

1. まえがき

近年地球環境問題で話題となっている地球温暖化は、気候・水循環に大きな影響を及ぼすといわれている。これらに関する研究は、国際的な動きとして、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)等盛んに行われているが、それらの報告¹⁾によれば、温室効果気体の濃度が現在の上昇率で上昇を続ければ、2030年頃には全球平均気温は、1.2~3.0℃上昇するとされている。これによって、全球平均降水量や蒸発量が2~9%増加、対流性降雨の増加による降水域の集中化、単位時間の降水量の増加が予想されている。わが国へ影響を与える気候変動については、現時点で最も確からしい推定は、冬季の寒気の吹き出しが弱まるとか夏のアジアモンスーンが強まる等の定性的な評価にとどまっている²⁾。そこで筆者らは、気温の上昇と降水量の変動を仮定した温暖化シナリオを基に、モデル流域を対象に水資源への影響を評価してきた³⁾。それらを踏まえ本報では、日本における地域的な気候特性を鑑み、地球温暖化の水資源へ与える影響について比較分析を行った。

2. 目的

地球温暖化が水資源に及ぼす影響について、いくつかのシナリオの基に、わが国の水資源計画・開発にどのような影響を及ぼすのかを指標を用いた安全度評価を行い検討することが目的である。

* 正会員 建設省土木研究所水資源開発研究室 室長 (〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

** 正会員 同室 研究員

*** 同室

**** 同室 部外研究員

3. 温暖化シナリオに基づく影響分析

対象とした流域は、九州北部（Aダム）、四国瀬戸内側（Bダム）及び東北太平洋側（Cダム）の3つの流域で、想定した温暖化シナリオをもとに、それぞれの流域での影響を評価すると共に、地域による違いを比較した。

3.1 各流域の流況の違い

表-1に対象とする各ダム流域の1981-1990年の10年間の、ダム地点の年平均降水量、ダムへの流域からの年平均流出高、年平均蒸発散量（＝年降水量－年流出高）、流域面積及びかんがい期間を示す。年降水量は、Aダムが圧倒的に多く、ついでBダム、Cダムの順であるが、年流出高でみると、Aダム、Cダム、Bダムの順になる。100km²あたりに換算した流況曲線を図-1に示す。Aダムは、他のダムに比べて年降水量が多いこともあり、豊水流量（95位）から平水流量（185位）にかけての流況が非常によいが、BダムとCダムを比較すると、流域面積の影響もあると思われるが、平均年降水量は大きな違いが無いにもかかわらず、その流況は大きく異なり、Cダムに比べてBダムの方が低水時の流況がかなり悪いことがわかる。これは、年間の降水量

表-1 対象ダム諸元一覧

対象流域	Aダム 九州北部	Bダム 四国瀬戸内側	Cダム 東北太平洋側
流域面積	18.9 km ²	28.0 km ²	740.0 km ²
年間降水量	2654.3 mm	1264.4 mm	1225.8 mm
年間流出高	2170.4 mm	606.6 mm	918.3 mm
年間蒸発量	483.9 mm	657.8 mm	307.5 mm
かんがい期	5/ 1-10/31	6/20- 9/20	5/15- 9/ 3
確保流量	4.13 m ³ /s	2.06 m ³ /s	79.31 m ³ /s

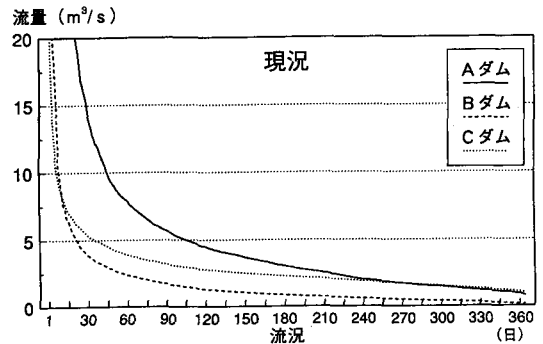


図-1 流況曲線（100 km²当り換算値）

量としては差がなくても、蒸発散量が異なるため、水資源として利用できる量は、地域によって大きく異なることを示し、ダムによる水資源開発も地域によって大きく異なることがわかる。

Aダム、Bダム及びCダム地点でのそれぞれ100km²あたりに換算した半旬流量と河川利用率（基準地点で年間確保すべき流量／年間総流出量）30, 40, 50, 60%の割合で求めたその地点の確保すべき流量（以下確保流量という）と、実流量の確保流量に対する不足量の累加曲線を示したのが図-2である。ただし、余剰流量がある時その余剰分を累加量より差し引いた。いずれのダムも1986から1987年を示したが、その流出量はもちろん流出形態が大きく異なる。個々のダムの特性をみるとAダムは6月から7月の梅雨の流出量が特に多い。Bダムも他の月に比べて6月から7月の流出量が多いがその絶対量はAダムに比べて少なく1987年10月に台風と思われる大きな出水があり、1986年と1987年ではその流況が大きく異なっている。Cダムは流出量が3月から4月にかけての融雪と思われる流出量他の月に比べ大きいのが特徴である。

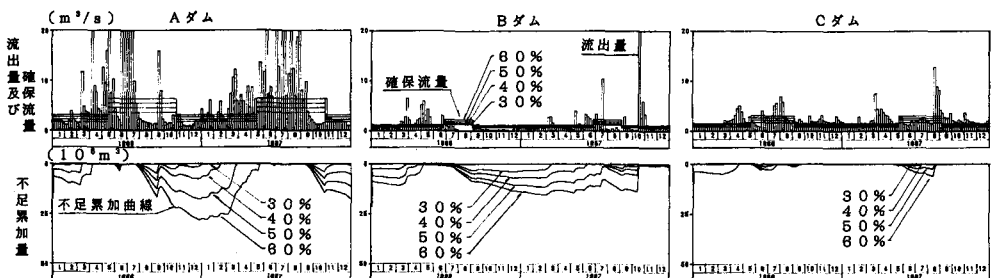


図-2 流出量及び不足量累加曲線（100 km²換算）

この流況の違いをわかりやすくするために示したのが不足量の累加曲線であるが、Aダムでは梅雨期を中心とした夏期に不足累加量は0になるパターン、Cダムは融雪期と8月から9月の出水で回復されるパターンが繰り返されるが、Bダムは台風期の出水の有無によってそのパターンが異なっていることがわかる。このように地域によって総量だけでなく流出形態が大きく異なり、その支配的な降雨特性も大きく異なる事がわかった。

また、河川利用率別に1986年から1987年の不足累加容量の最大値を図-3に示した。この図から、Aダムは利用率が40%を超えると、Cダムは50%を超えると累加量の増加は大きくなりBダムは比較的一定の増加量である。Aダムは1986年の8月から9月の上旬の渇水と9月下旬からの渇水があり、利用率30,40%は8月から9月上旬の渇水が大きいが利用率50,60%となると9月下旬からの渇水の方が大きくなっている。これは利用率を高める事で前半の渇水と後半の渇水が連続したため生じた例である。Bダムでも同じ事が1986年後半の渇水と1987年7月後半の渇水でみられる。

3. 2 温暖化シナリオによる流況の比較

地球温暖化による水資源への影響を考える場合、3.1で示したように日本において流況を支配しているのが、梅雨期や台風期あるいは雪のある地域では降雪量・融雪量であるため、それらが地球温暖化が進行した場合にどのような影響をうけるかを解明し、水資源への影響を考慮すべきであるが、それらに対してまだ十分な知見が得られていない。そこで、表-2に示す気温の上昇（0～3℃まで1℃ずつ上昇）と降水量（0%, ±10%）の変化量を想定したシナリオをもとに以下のようなモデル及び条件で、流出計算を行った。

各流域に対して流出モデルとして、4段のタンクモデルを用い、日単位で流出計算を行った。また、Cダムに関しては、降雪があるので、流域を約250m四方のメッシュに分割し、メッシュ毎に降雪・積雪・融雪を考慮したモデルを適用し⁴⁾、タンクモデルへの入力は、このモデルにより各メッシュ毎に求めた融雪量と降雨量を流域平均した値とした。蒸発散量に関しては、気温から求める Hamon式より算出した可能蒸発散量を年間水収支より補正した。気温の上昇は、蒸発散量とCダムのみ降雪（雨と雪の判断）と融雪に影響を及ぼし、降雨（降雪）に関しては、現在の降水パターンは変化せず量だけが変化するとした。図-4にCダムのある年のCASE2（現況）とCASE11（降水量変化なし、気温3℃上昇）の流況を比較して示す。現況では冬期（12-3月）の降雨が雪になり、積雪として流域に貯留され、すぐに流出し

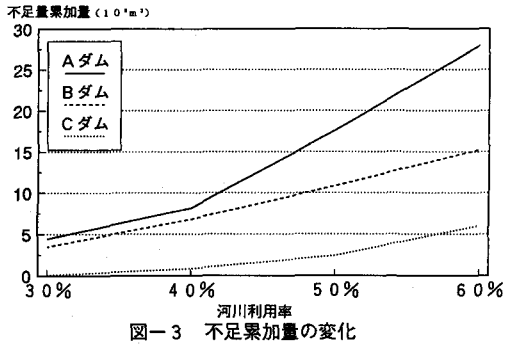
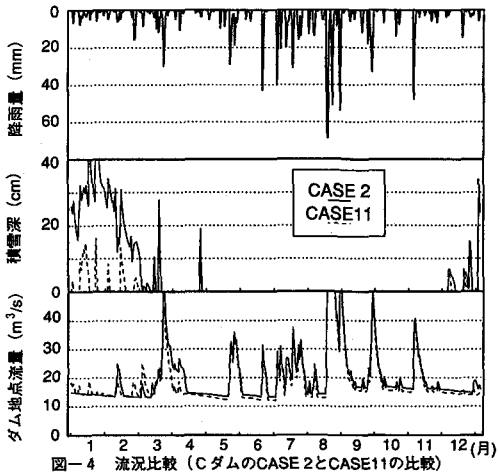


表-2 気温上昇と降水量変化のケース

降水量(%) 気温上昇(℃)	降水量(%)		
	- 1 0	± 0	+ 1 0
± 0	CASE 1	CASE 2	CASE 3
+ 1	CASE 4	CASE 5	CASE 6
+ 2	CASE 7	CASE 8	CASE 9
+ 3	CASE10	CASE11	CASE12



ないのに対し、気温が3℃上昇すると、現況では雪として降ってくる量の一部が雨として降ってくるため、すぐに流出していることがわかる。また、融雪期も当然早くなり、融雪出水の流量も流域の雪が少ないこともあり減少している。各ダムでの10年平均の流況曲線での、CASE11とCASE 2の比をとったのが図-5である。この図で特徴的なのは、Aダム及びBダムは、概ね低水時の方が、流量の違いの割合が大きい、Cダムの流況は、中位での違いが大きく、渇水時の流量は大きな違いがみられない。これは、

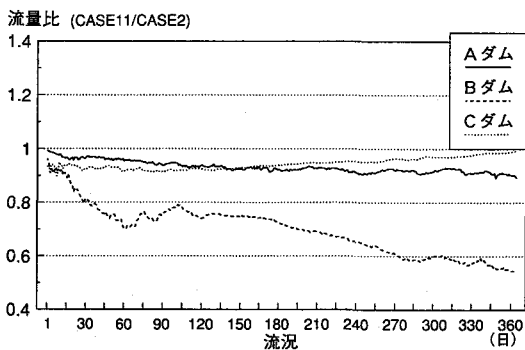


図-5 流況増減比曲線 (CダムのCASE 2とCASE11の比較)

図-4でもわかるように、現況では3月後半の、流域にはまだ降雪があって融雪がはじまる前に年最小流量がみられることが多いが、気温が上昇するとこの時季の降雪が降雨に変わるとともに、融雪の時期が早くなり、この期間の流況が良くなり、年最小流量の発生する時期が夏期に移動するためであると思われる。

3.3 温暖化シナリオのもとでの水資源の安全度評価

3.1～2で示した条件、流況のもとでダムによる水資源開発の影響を検討した。それぞれダムは、表-1に示す流域面積をもち、ダムから利水補給を行う際にその放流量を決定する下流基準地点は、その上流域がダム流域の6倍(ダム流域も含む)を持つ地点とし、残流域からの流出量は、ダム流域の5倍とした。また、その確保すべき流量は、かんがい期：非かんがい期=2：1で、1981～1990年の流出量に対して、河川利用率が40%となるように算出した。以上の条件で、1981～1990の流況に対して1/10の利水安全度(1/10の利水安全度とは10ヵ年に1回おこりうる最大の渇水に耐える容量を持つ事でここでは過去の10ヵ年の流量をもちいた利水計算結果より最大の容量のことをいう)が確保できるように利水容量を算出した。その利水容量に対して表-2に示す温暖化シナリオに基づいてダムの運用計算を行った。その結果を不足%日(不足%・日とは基準地点での確保流量にたいして不足する流量を確保流量に対する割合で日単位で累加するもので渇水の大きさなどを表す1つの指標である。なお、この数字が大きいくほど渇水が大きいことを表す)を指標にして代表的なCASEのみ図-6, 7に示す。この図からもわかるように、温暖化が進行し気温の上昇が生じると水資源に及ぼす影響は、図-8に示すように蒸発散量の大きい、Bダム、Aダム、Cダムの順に不足%・日が大きくなることわかる。また年降水量に大きな差のないBダムとCダムを比較しても、蒸発散量が大きく有効雨量の小さいBダムのほうが不足%・日は遙かに大きくなる事がわかる。図-9をみるとBダムは気温上昇につれ渇水生起回数がAダムやCダムより多くなっているのがわかる。これは、初期条件である1/10の安全度をもって利水容量を決める際、Bダムは10ヵ年第1位の容量とそれ以降の第2, 3位の容量が比較的接近しており、気温上昇による流況の変化がこれらの渇水にたいして1/10安全度の容量でダム補給できなくなる

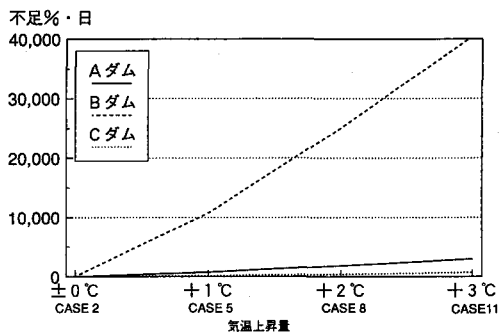


図-6 各ダムの不足%・日(降水量変化±0%時)

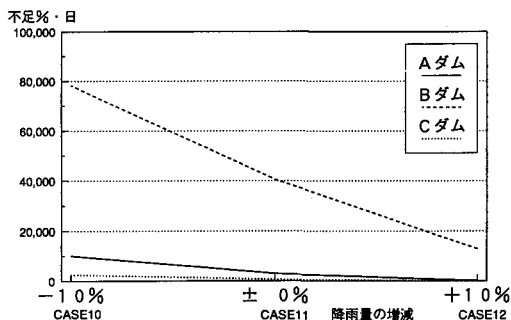


図-7 各ダムの不足%・日(気温上昇量+3℃時)

ためと思われる。それに対してAダムやCダムは気温上昇に伴い渇水の回数はあまり多くならず1/10安全度の容量を決定した渇水を中心に不足%・日の変化が現れている。図-6で示したBダムの不足%・日の増加の割合が非常に大きいのは、この影響と図-2で示した渇水が連続する現象の相乗効果であると思われる。また、図-7をみると蒸発散量の大きいBダム及びAダムでは、たとえ降水量が現在より10%増加しても、気温が3℃上昇すると、それぞれの不足%・日は12,815%・日、123%・日となり水資源安全度は低下することとなる。このことより、蒸発散量の変化が水資源に極めて大きな影響を及ぼすことがわかる。また、同様にして表-2に示す温暖化シナリオに基づいてそれぞれの流況に対して1/10の安全度が確保できるように利水容量を算出した。その結果の代表的なCASEを図-10に示す。なおダム容量を比較するとき流域面積の影響を除くため、単位面積あたりのダム容量を図-11に示した。この図-11からもわかるように、不足%・日と同様に蒸発量の大きいBダム、AダムCダムの順に単位面積当たりのダム容量が大きくなる事がわかる。なお、Bダムは気温が+3℃上昇すると渇水が次の渇水と連続するようになり渇水の規模が大きくなり貯水池が満水に回復できなくなる。これは図-2でみられるように、1つの渇水と次の渇水が連続する現象が次々とおこるためである。このようにダム容量の増加量は、蒸発散量の影響が極めて大きい。その意味では本シミュレーションにおいては温暖化の影響は蒸発散量の大きさに支配されるが、図-10をみると蒸発散量の小さいCダムの1/10安全度を確保する容量の増加率が非常に大きい。例えば1℃上昇すると現況容量に比べて1.5倍、2℃上昇すると2.1倍の容量が必要になる。これはCダムはここで想定した河川利用率40%の確保流量を少ない容量で開発できるため、気温上昇による影響を対現状比として捉えた場合大きくなる事による。つまり、現状の自然流量と水資源の開発レベルがどのようなレベルであるかによって地球温暖化が進行した場合に、同一安全度を確保するための容量の対現状比は大きく異なると思われる。

また、BダムのCASE 2（気温上昇0℃，降雨量変化±0%）とCASE12（気温上昇+3℃，降雨量変化±10%）を比較すると有効降雨が607mmと偶然一致

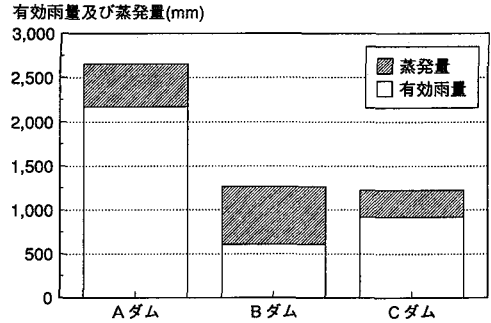


図-8 有効雨量及び蒸発量

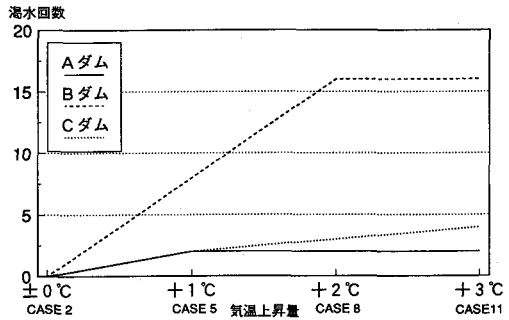


図-9 各ダムの渇水回数（降水量変化±0%時）

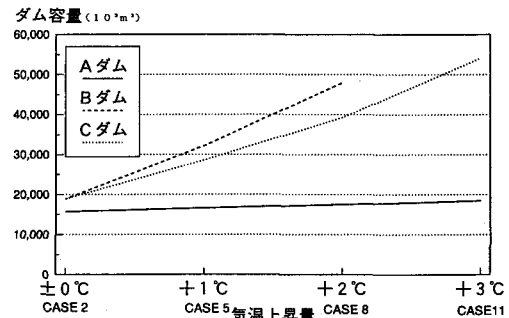


図-10 各ダムのダム容量（降水量変化±0%時）

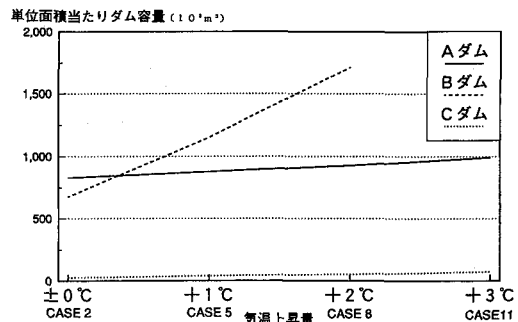


図-11 各ダムの単位面積当たりの容量（降水量変化±0%時）

したが、図-12をみるとダム容量は、それぞれ $1,894\text{万m}^3$ と $3,448\text{万m}^3$ と実に1.8倍程度になっている。この図よりCASE12はCASE 2と比較すると年間流出高はほぼ同じでも高水時の流量が大きく低水時の流量が小さい。連続した低水時流況によって貯水池必要流量が決定されるのでCASE12の方がCASE 2に比べて必要容量が大きくなる結果となった。

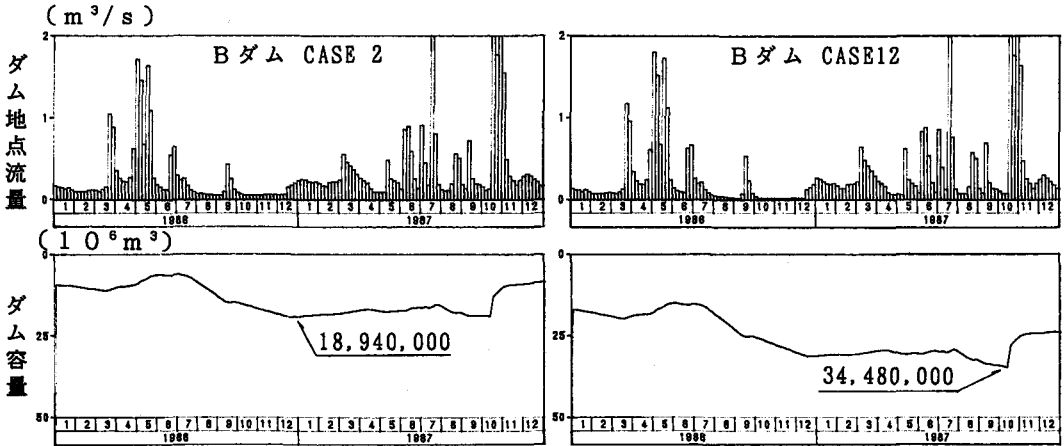


図-12 Bダムのダム地点流量とダム容量

4. まとめ

本報では、3つのモデル流域を選びそれぞれの流況の特徴を踏まえた上で、地球温暖化が進行した場合の地域的な比較を試みた。その結果以下のような事がわかった。

- ①地域的に流況は大きく異なりその総流出量はもちろん流出形態も大きく異なることがわかった。特に地域的に違いはあるものの梅雨期、台風期、融雪期の流量が水資源に大きな影響を及ぼす事がわかった。
- ②想定したシナリオのもとで温暖化の影響を評価した場合、蒸発散量の影響が大きく、蒸発散量の大きな地域の方がその影響は大きい事がわかった。しかし、同じ安全度を確保する上で必要な容量を現状と比較すると、現状の流況、水資源の開発レベルとも関係するため、対現状比でみると蒸発散量の少ない地域でも温暖化の影響は大きい事がわかった。

台風、梅雨及び積雪・融雪等日本の水資源を支配する要因が温暖化が進行した場合にどのように変化するかが不明確であるので、本報では簡単なシナリオを用いて評価したが、今後はそれぞれの影響をできるだけ評価する手法を取り込むとともに、温暖化が進行した場合の対応策について研究を行う必要がある。

参考文献

- 1) Edit. J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums: CLIMATE CHANGE, The IPCC Scientific Assessment, Report Prepared for IPCC by Working Group I, Cambridge University Press, 1990
- 2) 気象庁編：地球温暖化監視レポート1991、1992
- 3) 廣瀬昌由、丹羽薫、宮井貴大：地球温暖化が進行した場合に水資源に及ぼす影響に関する考察、第4回水資源に関するシンポジウム前刷集、pp763-768、1992
- 4) 丹羽薫、盛谷明弘：ダム流入量予測のための融雪流出のモデル化、土木研究所資料第2826号、1990