

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450344

研究課題名(和文) 確率洪水比流量曲線を用いた地域的洪水危険度の将来予測

研究課題名(英文) Future Projection of Regional Flood Risk by Using Probabilistic Flood Envelope Curves

研究代表者

近森 秀高(Chikamori, Hidetaka)

岡山大学・環境生命科学研究科・教授

研究者番号：40217229

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：全国の6流域それぞれにおけるレーダーアメダス解析雨量及び地域気候モデル(RCM)による将来の時空間降雨分布データに、6定数型の面積降雨-面積-降雨継続時間関係式(DAD式)を適応し、これに基づく洪水比流量曲線を用いて各流域における確率洪水比流量の将来変化を調べた。その結果、将来変化の傾向は流域によって異なり、とくに流域面積による洪水流量の増加傾向に違いが見られた。また、近年公表された全国各地における既往最大面積雨量のDAD関係から洪水比流量曲線を推定した結果、北海道南部などで、現在ダム設計基準等に用いられているCreager式、角屋・永井による式を上回る洪水比流量が推定された。

研究成果の概要(英文)：An implicit flood envelope curve (FEC) equation was derived as a solution to a system of a 6-parameter depth-area-duration (DAD) equation, a time of concentration formula and the rational formula. The FEC equation was respectively applied to present and future probabilistic specific discharge in six river basins in Japan. The comparison of present and future FECs shows different characteristics of change in probabilistic flood discharge especially by basin area. In addition, flood envelope curves were derived from DAD relations in record maximum areal rainfall data for each of 15 regions in Japan, and the estimated peak specific discharge from the DAD relation exceeded the estimated by conventional flood envelope curves as Creager's and Kadoya's in some of the regions including the South Hokkaido area.

研究分野：水文学

キーワード：洪水比流量曲線 DAD関係 確率流量 既往最大面積雨量

1. 研究開始当初の背景

申請者らは、平成 23 年～25 年の 3 年間採択された基盤研究 (C)「地域洪水頻度解析に基づく確率洪水比流量曲線の推定に関する研究」で、レーダー・アメダス解析雨量を用いた DA (降雨強度-面積) 解析の結果に基づく洪水比流量曲線の推定を行い、岡山県の三大河川である高梁川、旭川、吉井川の各流域を対象に、22 年間のレーダー・アメダス解析雨量を用いて最大 DA 曲線および洪水比流量曲線を求め、また、これらの流域を対象に、年最大面積降雨強度と面積との関係に極値分布を当てはめ、確率洪水比流量曲線の推定を行った。また、この過程で、とくにクリーガー曲線で問題とされた洪水比流量の過大推定の傾向について、面積最大雨量の空間分布の観点から説明を試み、洪水比流量曲線を設計洪水流量推定に用いる場合に、時間的だけではなく空間的な確率分布も考慮する必要があることを指摘した。

洪水比流量曲線の本来の役割は設計洪水流量の推定であったが、申請者らは、これまでの検討を通して、現在及び将来の洪水危険度評価の指標としての役割に着目した。

河川上流部からの流出による洪水危険度の変化は、本来、確率流量の変化により評価されるべきであるが、検討の対象となる流量データには限りがあり、流出モデルを用いて雨量データから推定した計算流量を対象に評価が行われる場合が少なくない。しかし、対象とする流域からの流量は雨量の空間分布に依存しており、この空間分布を流量に反映させるために必要な分布型の流出モデルは、降雨-流出計算に時間がかかり、長期にわたる検討には不向きである。一方、確率面積雨量の DA 曲線は、降雨強度の空間分布データから簡便なアルゴリズムにより抽出することができ、これに基づいて確率洪水比流量を求めることは、分布型流出モデルを用いるアプローチよりは容易である。

近年、気候変動に伴って雨の降り方が変化していると言われており、限られた小面積の地域で発生する「ゲリラ豪雨」だけでなく、梅雨末期の前線や台風による数日間に渡る長期間の広域の豪雨による洪水も問題になっている。降雨の頻度解析は、従来、地点雨量を対象とすることが多く、洪水流出の頻度を考える上で重要な統計的な DA 関係については、これまであまり考慮されてこなかったと言ってよい。この考え方によれば、地域気候モデル (RCM) などによる将来の雨量データから確率洪水比流量曲線を求めることにより、将来の洪水危険度の変化を評価できるはずである。

以上のような経緯で、現在および将来の雨量の空間分布データから推定した確率洪水比流量曲線の比較により、洪水危険度の変化の評価手法を開発・研究する計画を着想するに至った。

2. 研究の目的

- (1) 確率洪水比流量曲線を地域別に求めるために、日本全国を降雨特性によって複数の地域に分類する。
- (2) 地域分類に基づいて、各地域におけるレーダー・アメダス解析雨量から確率 DA 曲線を求め、これに基づいて現在の確率洪水比流量曲線を求める。
- (3) 地域気候モデルなどによる将来の雨量の空間分布データから確率 DA 曲線を求め、これに基づいて将来の確率洪水比流量曲線を求める。
- (4) 現在および将来の確率洪水比流量曲線を比較し、将来の確率ピーク流量の面積別変化を調べることにより、洪水危険度の変化を地域別に評価する。

3. 研究の方法

- (1) 6 定数型 DAD 式を導入し、DAD 関係の近似精度の向上を図った。これまで用いてきた Horton-Sherman 型の 4 定数型 DAD 式および 6 定数型 DAD 式は以下のようである。

Horton-Sherman 型の DAD 式:

$$r = \frac{a}{t^c} \exp\{-a(A - A_0)^\beta\}$$

ここに、 a, c, α, β は定数、 A : 流域面積 (km²)、 A_0 は実用上点最大面積でここでは 0 とした。

6 定数型 DAD 式:

$$r = \frac{a}{t^c + kt^d(A - A_0)^\gamma + b}$$

ここに、 a, b, c, d, k, γ は定数である (Horton-Sherman 型 DAD 式の定数の値とは異なる)。

- (2) 6 定数型 DAD 式を、下記の洪水到達時間式および合理式と連立することにより、有効降雨強度 r_e に関する陰関数は以下のようである。

洪水到達時間式:

$$t_p = C \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35}$$

有効降雨強度 r_e に関する陰関数:

$$C^c A^{0.22c} r_e^{-0.35c} + k C^d A^{0.22d + \gamma} + b - a \cdot r_e^{-1} = 0$$

ここに、 t_p : 洪水到達時間 (min)、 C : 土地利用係数、 r_e : 有効降雨強度 (mm h⁻¹)

上式を、Newton 法を用いて解くことにより、有効降雨強度 r_e が推定できる。

- (3) 有効降雨強度 r_e を時式に代入することにより、洪水比流量を推定できる。

$$\frac{Q_p}{A} = q_p = \frac{1}{3.6} r_e$$

ここに、 q_p はピーク洪水比流量、

($\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$), Q_p : ピーク流量 (m^3s^{-1}) である。

(4) 日本全国 6 カ所の一級河川流域を選定し、レーダー・アメダス解析雨量を現在の雨量、雲解像領域大気モデルの出力雨量（以下、RCM 雨量と呼ぶ）を将来の雨量として、確率洪水比流量曲線の将来変化を予測した。なお、DA 関係の推定には、新たなアプローチとして提案した「改良変形面積法」を用いた。

(5) 平成 27 年に国土交通省より公表された全国 15 地域の既往最大面積雨量曲線に基づいて各地域における洪水比流量曲線を推定し、これまで全国各地で用いられてきたクリーガーおよび角屋・永井による洪水比流量曲線のそれぞれと比較した。

4. 研究成果

(1) 6 定数型 DAD 式を用いた洪水比流量曲線式の誘導とその実流域への適用

6 定数型の DAD 式および 4 定数の Horton-Sherman 型の DAD 式を、確率面積雨量へ適合することによりその適合性を比較した結果、6 定数型の DAD 式の方が、適合性が高いことが分かった。Horton-Sherman 型の DAD 式は、流域面積によって推定精度が悪い場合が見られた（図 1）。

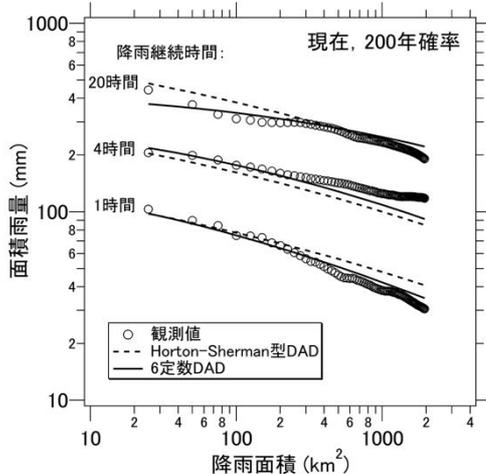


図1 Horton-Sherman 型 DAD 式と 6 定数型 DAD 式の適合性(岡山県, 吉井川流域)

6 定数型 DAD 式に基づく陰形式の洪水比流量曲線式を誘導し、これを吉井川流域に適用した結果、200 年確率洪水比流量曲線が岡山県、広島県の既往最大比流量をよく包絡することが分かった（図 5）。

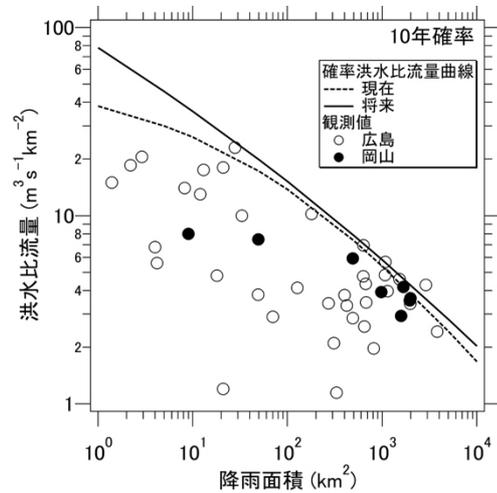


図 2 現在および将来の確率洪水比流量曲線 (10 年)

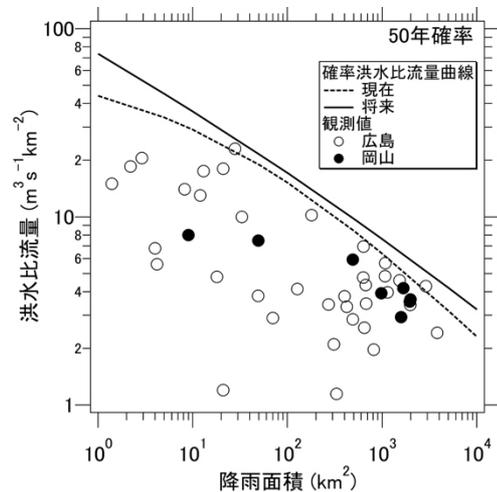


図 3 現在および将来の確率洪水比流量曲線 (50 年)

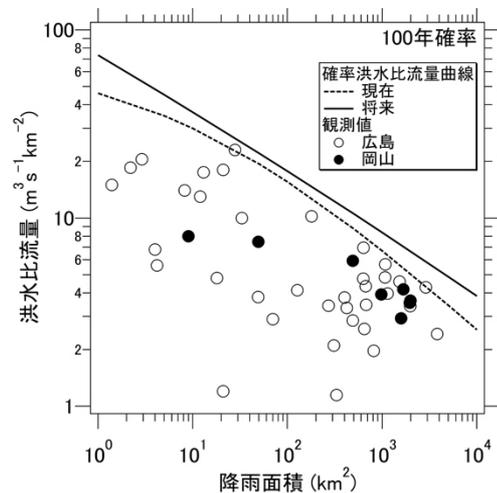


図 4 現在および将来の確率洪水比流量曲線 (100 年)

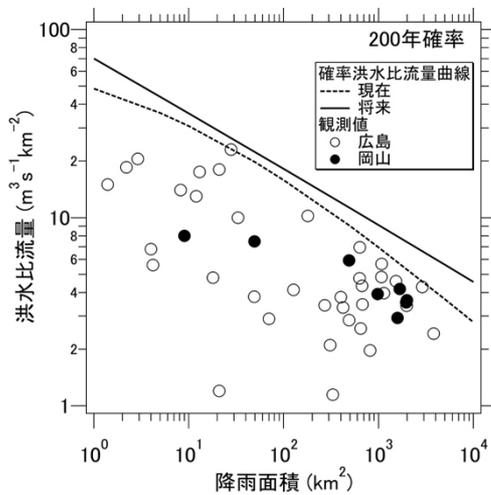


図 5 現在および将来の確率洪水比流量曲線 (200年)

10年, 50年, 100年および200年確率洪水比流量曲線の将来変化をみると(図2~5), いずれの流域面積にかかわらず将来の方が現在を上回った。増加率は流域面積が小さいと大きく, 流域面積が大きくなるに従って小さくなるが, 流域面積が80km²程度以上になると再び増加率が大きくなる傾向が見られた。

Bootstrap法により求めた現在および将来の確率面積雨量の分布の相異について, コルモゴロフ・スミルノフ検定により調べた結果, ほとんどの確率年および降雨面積について, 確率面積雨量は現在と将来とでは統計的に異なることが分かった。

(2) 日本全国の6カ所の一級河川流域への適用と将来変化予測

DA関係の推定精度の改善を目的として, 新たなアプローチに基づく「改良変形面積法」を提案した。その結果, 従来の対象流域決定法を用いてDA関係を求めた場合, 面積によっては流域内の異なる範囲における面積最大雨量が反映されるため, 面積最大雨量は面積の増加に従い単調に減少しなかったが, 本研究で提案した改良変形面積法により, 面積を1格子区画ずつ拡げることでこの点を改善でき, より正確なDA関係を求めることができた。

レーダー・アメダス解析雨量を現在の雨量, 雲解像領域大気モデルの出力雨量を将来の雨量として, 得られた確率DAD式に基づいて確率洪水比流量曲線を求め, これらと比較して, 太田川・那珂川・大淀川・四万十川・神通川流域における, 気候変動による確率洪水比流量曲線の変化を検討した。その結果, 将来の確率DAD関係を求める際, バイアス補正した月別年最大面積雨量を用いた場合, 確率年が大きくなると, 確率面積雨量が面積の増加に対して必ずしも単調減少にならなかった。このため, 現在のRCM雨量から推定された月別確率面積雨量をレーダー雨量

から推定された月別確率面積雨量と比較すると, 降雨継続時間が短い場合は小面積, 長い場合は大面積流域における再現精度が低かったため, 将来の確率DAD関係の適合性が悪くなった。一方, バイアス補正した年最大面積雨量を用いた場合, 降雨継続時間が短い場合には小面積, 長い場合には大面積流域に対する確率DAD関係が, 月別年最大面積雨量をバイアス補正した場合よりも良好な適合性を示し, 洪水比流量曲線の推定のために好都合な結果が得られた。このことから, 将来の確率DAD関係は, 季節による降雨パターンの変化を考慮せずバイアス補正する方が高い適合性を示すことが分かった。

将来の確率洪水比流量の増減には, 降雨継続時間が短い場合には小面積, 長い場合には大面積に対する確率面積雨量の増加率または減少率が反映され, 200年確率洪水比流量曲線を比較すると, 太田川流域では全ての面積に対して将来の洪水比流量が現在の値を上回り, 全ての面積について洪水規模が大きくなることが推察されたが, 那珂川では全ての面積に対して変化は小さく, 洪水規模の将来変化が小さいことが予測された。大淀川・四万十川・神通川流域では, 小面積流域に対しては将来の比流量が現在の値を上回ったが, 大面積流域では下回った。このことから, これらの流域では将来, 小流域では洪水の規模が大きくなるが, 大流域では逆に洪水規模が小さくなる可能性が示唆された(図6~10)。

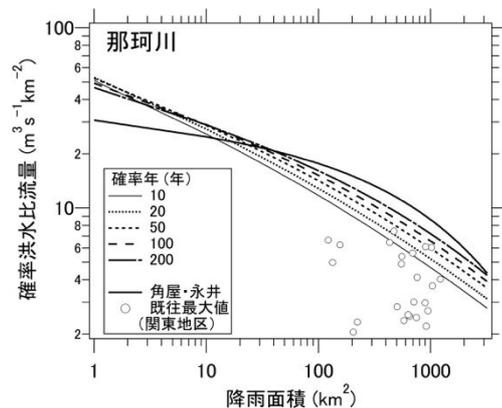


図6 6定数型DAD式に基づく洪水比流量曲線(那珂川)

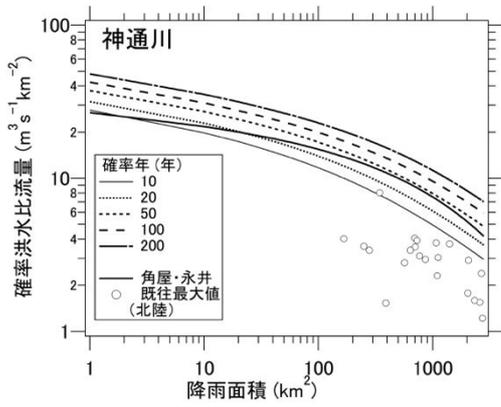


図7 6定数型DAD式に基づく洪水比流量曲線(那珂川)

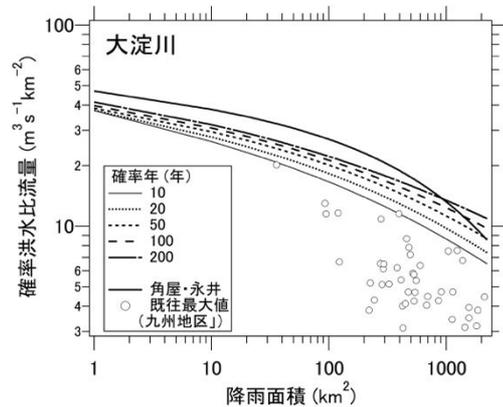


図10 6定数型DAD式に基づく洪水比流量曲線(大淀川)

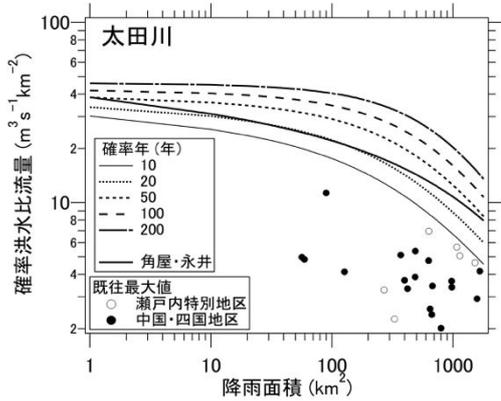


図8 6定数型DAD式に基づく洪水比流量曲線(太田川)

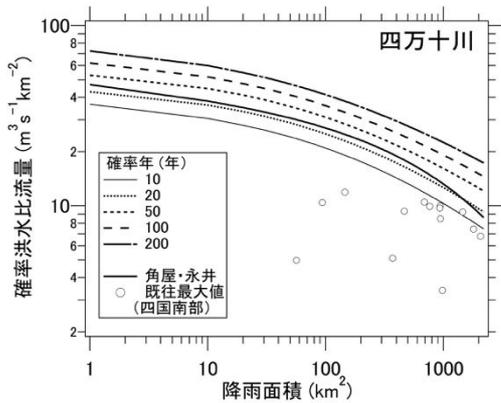


図9 6定数型DAD式に基づく洪水比流量曲線(四万十川)

(3) 全国15地域における既往最大面積雨量のDAD関係に基づく洪水比流量曲線の同定とその規模評価

15地域の既往最大面積雨量に6定数型DAD式を適応し、これと洪水到達時間式を連立して得られる洪水比流量曲線をクリーガー式(1944)、角屋・永井(1979)による式とそれぞれ比較した。全般的に既往最大洪水比流量の推定値は、これら両式による推定値を上回る傾向にあり、特に北海道南部地域ではその傾向は顕著であることが確認できた(図11)。また、中部、四国南部、九州南東部の既往最大値の洪水比流量曲線の傾きは比較的小さく、流域面積が大きい場合に傾きが小さい傾向があることから、特にこれら3つの地域は他の地域に比べ大流域で出水規模が大きくなる傾向があることが示された。

レーダー・アメダス解析雨量から得られた山陰地域の年最大面積雨量データに降雨継続時間および降雨面積のそれぞれの別に一般化極値分布を適合し、これを用いていくつかの確率年に対する確率面積雨量を推定した。この確率面積雨量に基づいて、確率DAD関係、確率洪水比流量曲線を推定し、既往最大面積雨量のDAD関係および洪水比流量曲線とそれぞれ比較した。その結果、既往最大面積雨量と確率面積雨量、それぞれのDAD曲線、洪水比流量曲線が近い値を示す確率年は、小面積側では10年および20年であるが、降雨面積の拡大に従って30年~50年の場合に近い値を示すようになることが示された。既往最大面積雨量を推定した元データの記録長が50年程度であることを考慮すると、このことは、小面積側で豪雨の頻度が高くなっていることを示唆している。

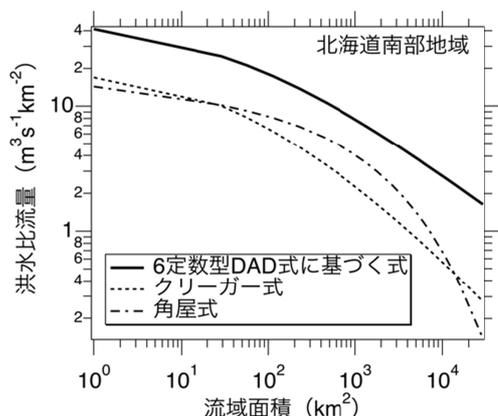


図 11 既往最大面積雨量に基づく洪水比流量曲線
(北海道南部地域)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計3件)

(1) Hidetaka Chikamori, Statistical Evaluation of Record Maximum Flood Envelope Curves Derived from Record Maximum Areal Rainfall in Japan, 14th Annual Meeting of Asia Oceania Geoscience Society, 2017年8月11日, Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre (Suntec City, Singapore)

(2) 近森秀高, 6定数型DAD式に基づく洪水比流量曲線式による確率洪水比流量の将来変化予測, 水文・水資源学会2015年度研究発表会, 2015年9月10日, 首都大学東京 南大沢キャンパス・11号館(東京都・八王子市)

(3) 近森秀高, 瀬戸内地域における確率洪水比流量の将来変化予測, 水文・水資源学会2014年度研究発表会, 2014年9月24日, 宮崎グリーンスフィア壱番館(KITEN)(宮崎県・宮崎市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近森 秀高 (CHIKAMORI, Hidetaka)
岡山大学大学院環境生命科学研究科, 教授
研究者番号: 40217229

(2) 研究分担者

永井 明博 (NAGAI, Akihiro)
岡山大学大学院環境生命科学研究科, 教授
研究者番号: 80093285