

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 14 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580336

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Derivation of Probabilistic Flood Envelope Curve by Regional Flood Frequency Analysis

研究代表者

近森 秀高 (Chikamori, Hidetaka)

岡山大学・その他の研究科・教授

研究者番号：40217229

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：河川流域における確率洪水ピーク流量を流域面積から推定する確率洪水比流量曲線を、気象レーダー及び地域気候モデルによる空間分布型雨量データの降雨継続時間・降雨面積・降水量の関数の確率統計解析によって推定する手法を開発し、岡山県吉井川流域を中心にこの手法を適用した。その結果、推定された200年確率洪水比流量曲線は既往最大洪水比流量をほぼ包絡できることを示された。また、100年後の将来、確率洪水比流量は増加し、その増加率は対象面積が大きくなるに従って大きくなる傾向が見られた。

研究成果の概要(英文)：Probabilistic flood envelope curve was derived on the basis of relationship among rainfall depth, area and duration (DAD relationship) of spatially distributed rainfall data, that is radar observed rainfall data and generated data by regional climate model (RCM) developed by Japan Meteorological Agency. The results show that 200-year flood envelope curve envelopes record maximum specific discharge in Yoshii River Watershed in Okayama, and that flood discharge will be increased in the future and increasing rate will be raised by the size of a catchment at 100 years from now.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：水文 洪水比流量曲線 洪水頻度解析 レーダー雨量計 地域気候モデル DAD解析

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 洪水比流量曲線の意義

豪雨や洪水に対処するためのダム等の水工施設の規模は、極値統計に基づく確率水文学に基づいて計画・設計されるが、観測データが乏しい流域における設計流量決定のために、洪水比流量曲線を用いることができる。わが国では、この曲線はおもにダム設計洪水流量の計算に用いられており（建設省河川局，2000；農林水産省農村振興局，2003），Creagerによる曲線の改良式や角屋・永井による推定式（1979）が、主に洪水吐の設計指針として用いてきた。

洪水比流量曲線は、地域ごとに異なる洪水流出特性をマクロに捉えるためには今でも水文学的に有効な手法である。とくに、角屋・永井によって提案された洪水比流量曲線は、対象地域における降雨の時空間分布特性や流出特性を反映できる構造を持ち、レーダー雨量計データや数値地図などの水文学量及び地形量の詳細な情報が利用可能となった今、これらの情報に基づいて、改めて洪水比流量曲線の観点から地域ごとの洪水流出特性を捉え直すことは有意義であると考えられた。

### (2) 洪水比流量曲線の問題点

洪水比流量曲線の問題点として、決定論的性格と確率論的性格の混在が挙げられる。洪水比流量曲線は元来さまざまな面積の流域における既往最大洪水比流量の包絡線であるから、これから得られる洪水比流量の推定は決定論的である。一方、包絡線決定に用いられる既往最大洪水比流量は、ある記録長を持ったデータから抽出された値であるから、何らかの発生確率を持つと考えられる。もし、さまざまな面積を持つ各流域において十分な長さの期間の流量データが記録されていれば、既往最大比流量だけではなく、確率比流量と流域面積の関係も得られるだろう。しかし、ほとんどの場合、流量データの記録長が流域によって異なるため、包絡される既往最大洪水比流量の発生確率は流域によって異なる。流域によって記録長が異なることは避けられないが、このことが、洪水比流量曲線の統計的性格を曖昧にしてきたとも言える。

また、小流域における洪水比流量は、とくにCreager式を用いた場合に過大推定の傾向があった。これは、Creager式がアメリカで用いられていた式を単位変換してそのまま日本で用いたことも原因の一つと考えられるが、洪水比流量曲線を描く際に洪水比流量との関係が深い面積雨量の空間分布を考慮していないことも一因であると考えられる。

### (3) スケーリング理論との関係

流域面積から洪水ピーク流量を推定する手法には、スケーリング理論に基づく地域頻度解析のアプローチがある。この地域洪水頻度

解析では、流域面積から洪水流量の確率値を推定しており、元々洪水頻度解析を目的としていなかった洪水比流量曲線とは異なるとされるが、洪水比流量曲線も前述のような確率論的性格を持つことから共通点は多いと言え、スケーリング理論からの新しい視点による検討から、新たな知見が得られることが期待される。

以上のような背景から、元来、既往最大比流量の包絡線として求められ統計的意味がやや曖昧であった洪水比流量曲線について、空間分布型の雨量データを用いて統計的意味を見直す環境が整ってきたと判断した。

## 2. 研究の目的

申請当初の目的は、以下のようであった。

(1) 角屋・永井によって提案されている洪水比流量曲線を基に、既往最大流量ではなく確率比流量を推定する確率洪水比流量曲線を求める。

(2) このために必要となる確率面積雨量のDAD関係を、地域頻度解析の手法を用いて求める。

(3) スケーリング理論の立場から見た面積雨量のDA関係についても調べる。

(4) 確率洪水比流量曲線の将来変化予測

(4)については、研究遂行の過程で、気象庁により開発された地域気候モデルである雲解像領域大気モデルによる現在及び将来の時間雨量の空間分布型データを入手できたことから、これを用いて、上記の課題(1)及び(2)に関連する課題として検討した。

## 3. 研究の方法

(1) 岡山県の吉井川流域を対象として、レーダー雨量計による雨量データから面積最大雨量-降雨面積-降雨継続時間を抽出し、これに、近似式であるDAD式を当てはめた。この式に基づいて、角屋・永井による洪水比流量曲線を求め、中国・四国地方において観測された既往最大ダム流入量の比流量と比較した。

(2) 各降雨継続時間に対する年面積最大雨量を求め、継続時間別に一般化極値(GEV)分布を当てはめ、これに基づいて10~200年確率面積雨量を求めた。得られた面積最大雨量-降雨面積-降雨継続時間の関係にDAD式を当てはめて確率DAD式とし、これに基づいて、流域面積に対する確率洪水比流量を表す確率洪水比流量曲線を求め、中国・四国地方において観測された既往最大ダム流入比流量と比較した。

(3) 洪水比流量と流域面積との関係をスケーリング理論の立場から検討することを念頭におき、日本における降雨特性の地域分類と、

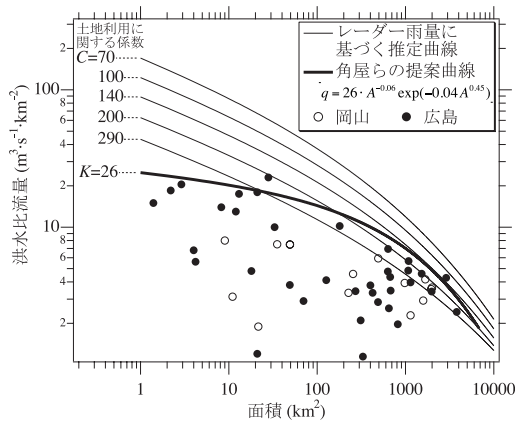


図1 吉井川流域におけるレーダー雨量に基づく洪水比流量曲線

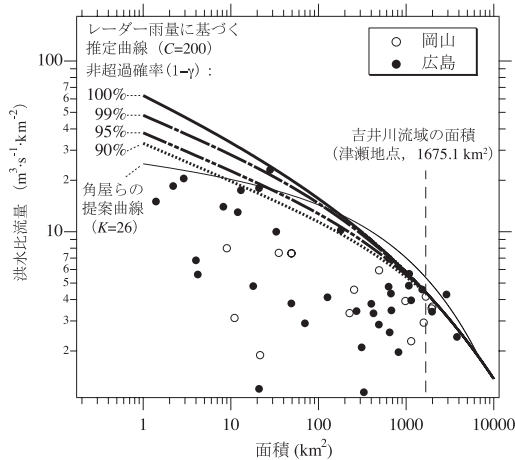


図2 面積最大雨量の空間的非超過確率を考慮した洪水比流量曲線 (吉井川流域)

分類された各地域における日雨量の頻度解析について以下のような検討を行った。

- ①気象庁所管の日本全国 156 箇所の雨量観測点において 1981~2010 年の 30 年間に観測された年最大日雨量データを対象に、まず、階層型クラスター分析を行い、降雨特性による地域分類を行った。
- ②地域頻度解析の手法を用い、ある地域内の各地点における年最大日雨量をその平均値で除して基準化したデータ全てに 5 種類の極値分布を適合して最も適合度が高いものを選び、これを用いて各地点における確率日雨量を求めた。また、従来の方法による地点別に確率日雨量を求める方法 (地点頻度解析) も適用し、これらの推定値を比較した。
- ③リサンプリング手法の一つである bootstrap 法を用いて地域頻度解析及び従来法による確率日雨量の推定値の信頼区間を調べ、推定値の信頼性を比較した。

(4) 確率洪水比流量の将来変化予測

(2) に示した手順と同様の手法を、気象庁により開発された地域気候モデルである雲解像

領域大気モデルによる現在及び将来の雨量データに適用し、現在及び将来の確率洪水比流量の変化を比較検討した。

4. 研究成果

(1) 空間分布型雨量データに基づく洪水比流量曲線の推定

①岡山県吉井川流域を対象に、レーダー雨量を用いて DAD 関係を求め、これに基づいて洪水比流量曲線を求めた。得られた結果は、吉井川流域だけでなく岡山及び広島県で観測された最大比流量のほとんどを包絡していたが、観測結果や角屋・永井 (1979) が提案している比流量曲線に比べ、小流域における最大比流量を過大に推定する傾向が見られた (図 1)。

②小流域において洪水比流量の推定値に過大推定の傾向が見られる問題について面積最大雨量の空間的非超過確率の概念を用いて説明し、DAD 解析に基づく洪水比流量曲線を用いて最大流量を推定する場合、これに直接関連する面積最大雨量が発生する確率は、空間的に見ると、対象面積が小さくなるほど低くなることを示した (図 2)。このことは、小流域における計画洪水流量を洪水比流量曲線から決定する際、洪水ピーク流量に寄与する雨量の空間的分布特性に留意する必要性を示している。

①の検討により、これまで地上雨量計雨量データに基づいて推定することが多かった洪水比流量を、より詳細な空間分布型雨量データを用いて推定する手順を示した。

また、②で検討した問題は、Creager 式による洪水比流量推定の際に指摘されていた小流域における過大推定の原因の一つを示唆していると考えられる。

(2) 確率洪水比流量曲線の推定

①確率洪水比流量曲線と面積最大雨量に基づく洪水比流量曲線とで、洪水比流量の推定精度を比較した。確率年を 100 年及び 200 年としたとき、面積最大雨量に基づく洪水比流量曲線と同程度に実測値を包絡できることが確認された (図 3)。

②確率洪水比流量曲線から推定された比流量は、角屋・永井 (1979) の提案した洪水比流量曲線や、岡山県、広島県の各地における既往最大比流量と比較して、小流域において過大に推定される傾向にあることが分かった。この傾向は、面積最大雨量に基づく洪水比流量曲線と全く同じであり、過大推定の程度もほとんど同じであった (図 3)。

③ (1) で検討した空間的非超過確率の概念の適用により、小流域における洪水比流量の過大推定の傾向を軽減することができた (図 4)。

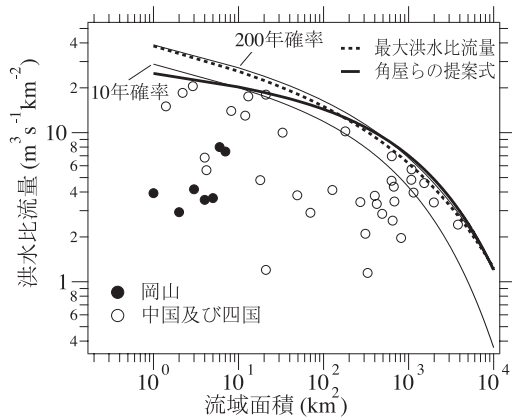


図3 吉井川流域におけるレーダー雨量に基づく200年確率洪水比流量曲線

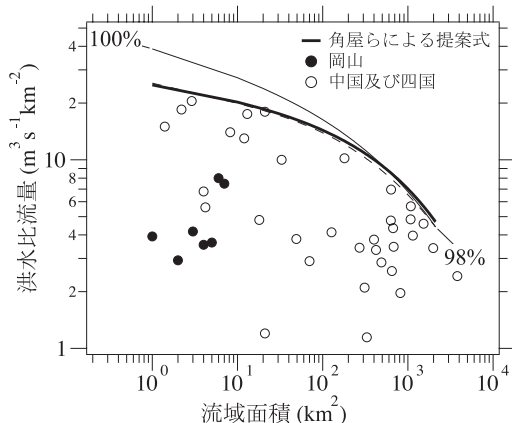


図4 面積最大雨量の空間的非超過確率を考慮した200年確率洪水比流量曲線(吉井川流域)

以上の検討により、流域面積から確率洪水比流量を計算する確率洪水比流量曲線の推定法の一つが提示された。わが国において、確率洪水比流量曲線に関する研究はほとんど前例がない。

各流域における既往最大流量を包絡する従来の洪水比流量曲線はその統計的意味が曖昧であったが、これにより発生頻度が明確な洪水比流量曲線を推定できることが示された。

### (3) 日雨量の地域頻度解析

- ①雨量観測点を、各地点の緯度・経度と年最大日雨量データのL-モーメント比とを变量としてクラスター分析により10個のクラスターに分類した。しかし、同じクラスターに地理的に離れた点が数多く含まれており、そのまま地域頻度分析を適用するには不適切な分類結果となったので、洪水比流量曲線適用のための地域分類を参照しながら、分類された各クラスター間で観測点を試行錯誤的に移動しながら再分類した結果、8個の地域に分類された。分類の結果には、参照した洪水比流量曲線適用のための地域分類と類似した点も見られたが、東北・北海道地方の分類などで異なる点も見

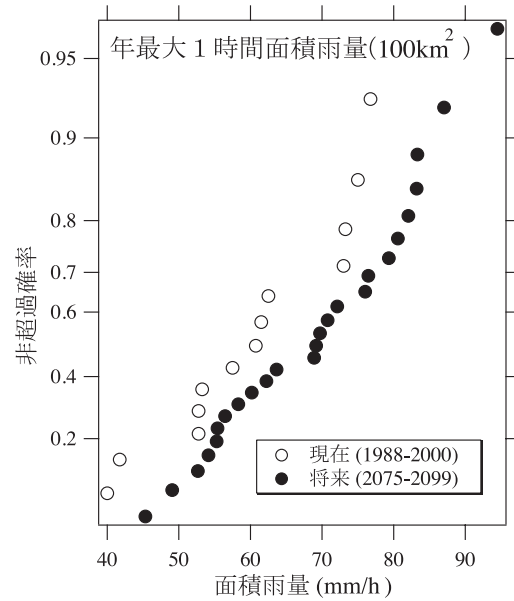


図5 現在および将来の年最大面積雨量(1時間雨量, 100km²)

られた。

- ③ある観測地点における年最大日雨量データの上位1位、または第1位及び2位の値がそれよりも下位の値に比べて際立って大きい場合、その地点の所属地域における不整合性が大きくなることが分かった。また、このような地点では、地域頻度解析による確率日雨量の推定値は地点頻度解析の推定値に比べて小さくなる傾向があった。この傾向は、全標本を用いた推定値でもbootstrap推定値でも同様であった。
- ④Bootstrap法により地域頻度解析及び地点頻度解析による確率日雨量の推定値の信頼区間を比較した結果、地域推定値の信頼区間の方が狭く、推定値の不確実性が小さいことが示された。

### (4) 確率洪水比流量の将来変化予測

- ①雲解像領域大気モデルによって計算された将来の雨量(将来のRCM雨量)が持つ偏り(バイアス)を補正することを目的として、レーダー雨量及び現在の気候のRCM雨量のそれぞれの年最大面積雨量に一般化極値分布を当てはめ、これらの分布による確率面積雨量の比を将来の気候の面積最大RCM雨量に乗じることによりバイアス補正を行った。ただし、バイアス補正の際に生じる年最大面積雨量の大小関係の逆転が非超過確率の大きい確率面積雨量の推定精度に影響を与えるおそれがあることが示された。現在及び将来の年最大1時間面積雨量の分布の一例を図5に示す。
- ②現在及び将来の確率DA関係を比較した結果、確率面積雨量は、将来、全ての降雨面積に対して増加傾向にあるが、その増加率は確率年と継続時間によって異なり、短い



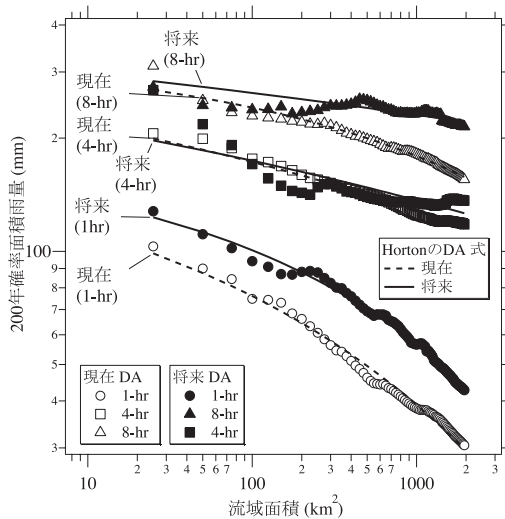


図6 現在及び将来の200年確率D A曲線  
(降雨継続時間：1, 4, 8時間)

降雨継続時間に対する面積雨量は将来多くなる傾向が強く、この傾向は降雨面積が小さいほど大きくなった(図6)。

- ③レーダー雨量とRCM雨量の各データからそれぞれ現在及び将来の確率洪水比流量曲線を求め比較した。確率年ごとに確率洪水比流量曲線を比較すると、全ての確率年について将来の方が大きい値となった。ただし対象面積が大きくなるに従って増加率が大きくなる傾向が見られた。これは、降雨強度の増加に伴う洪水到達時間の短縮が影響しているものと推察された(図7)。

以上の検討により、(3)での検討で得られた確率洪水比流量曲線を用いて、流域面積別に洪水危険度の変化の将来予測が可能であることが示された。

#### (5) 問題点及び今後の展望

##### ①DAD関係の近似

問題点としては、レーダー雨量計データ及び地域気候モデルによる雨量出力データへのDAD曲線の適合度が十分とはいえない点が挙げられる。本研究で検討したDAD式は、DA式であるHorton式とDD式であるSherman式の積の形で表された結合形式のものである。これは、降雨継続時間の増加に伴う最大面積雨量及び確率面積雨量の増加率が降雨面積に拘らず同じであることを前提としているが、実際には、増加率は降雨面積によって異なっており、このことがDAD関係の近似を困難にしていることが一因となっている。

実測データをよりよく近似するためには、DAD関係を単一関数で表す式の採用を検討する必要があると思われる。この場合、面積超過確率を考慮した小面積流域における過大推定の軽減法導入の可否が問題となり、さらに検討が必要である。

##### ②日本全国における確率洪水比流量曲線の

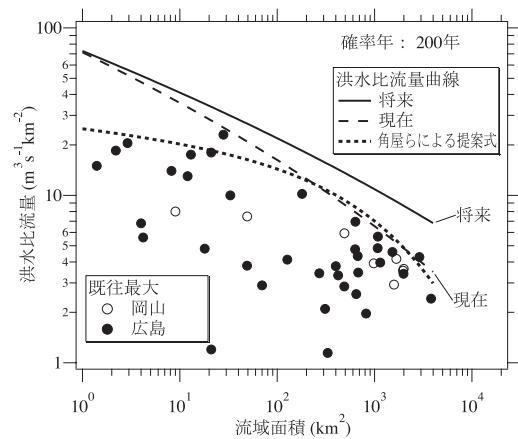


図7 現在および将来の200年確率洪水比流量曲線

#### 推定

本研究では、吉井川流域を中心とする岡山県内の流域での検討に留まったが、今後、同様の手法を日本全国の流域に適用し、確率洪水比流量の将来変化を予測していく必要がある。その第一歩として、全国109個の一級河川の各流域を対象にしていくことが考えられるが、本研究で行った地域頻度解析の手法を用いて、日本全国を降雨特性によって数個の地区に分類し、各地区を対象に確率洪水比流量曲線を適用することも考えられる。現在、わが国で用いられている角屋らによる洪水比流量曲線式については全国を9地域に分割しその各地域について適用式が定められている。また、Creager式については11地域についてそれぞれ適用式が定められている。

##### ③信頼性の高い将来予測

本研究では、気象庁の雲解像領域大気モデルを用いて、確率洪水比流量曲線の将来変化予測を行ったが、近年では、気候の将来予測には、単一の気候モデルだけではなく複数のモデルの出力結果を用いることが多くなっている。今後、多くの気候モデルによる高解像度の将来予測データの整備が進むことにより、確率洪水比流量の将来変化についてもより信頼性が高い予測ができるようになることを期待している。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

① 近森秀高, 永井明博, 日本全国における日雨量の地域頻度解析, 農業農村工学会論文集, 査読有, 2013, No. 287, 439-451, <http://http://ci.nii.ac.jp/naid/40019848427>

② 近森秀高, 永井明博, 地域頻度解析を用いた岡山県における確率日雨量の推定, 応用水文, 査読有, 2012, No. 24, 1-10, <http://ealfor.ans.kobe-u.ac.jp/hyden/journal/No24.pdf>

③ 近森秀高, 工藤亮治, 永井明博, 地球温暖

化に伴う降水特性の経年変化, 水土の知, 査読有, 2011, 第 79 巻, 12 号, 909-912

④ 近森秀高・永井明博, レーダー雨量から見た瀬戸内地域の洪水比流量曲線, 農業農村工学会論文集, 査読有, 2011, No.272, 81-90, 10.11408/jsidre.79.125

[学会発表] (計 7 件)

① Hidetaka Chikamori and Akihiro Nagai, Derivation of Probabilistic Flood Envelope Curves by Spatial Distribution Analysis of Radar Rainfall, The 9th APRU Research Symposium on Multi-Hazards around the Pacific Rim, October 29, 2013, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

② 近森秀高・永井明博・増田直也, レーダー雨量から見た瀬戸内地域の確率洪水比流量曲線, 水文・水資源学会 2013 年度研究発表会, 平成 25 年 9 月 25 日, 神戸 (兵庫)

③ 近森秀高・永井明博・増田直也, レーダー雨量に基づく確率洪水比流量曲線の推定, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 25 年 9 月 3 日, 東京 (東京)

④ 近森秀高・永井明博, 地域頻度解析を用いた岡山県における確率日雨量の推定, 第 24 回水文・水環境部会シンポジウム, 平成 23 年 11 月 24 日, 宇都宮 (栃木)

⑤ 増田直也・近森秀高・永井明博, Peak Over Threshold 理論に基づく確率日雨量の推定, 第 66 回農業農村工学会中国・四国支部講演会, 平成 23 年 10 月 20 日, 高知 (高知)

⑥ 近森秀高・永井明博・剣持卓也, 岡山県における日降水量の地域頻度解析, 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 23 年 9 月 7 日, 博多 (福岡)

⑦ 近森秀高・永井明博, レーダー雨量計データに基づく洪水比流量曲線の推定, 水文・水資源学会 2010 年研究発表会, 平成 23 年 8 月 31 日, 宇治 (京都)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

## 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