

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760379

研究課題名（和文） 流出モデルの集中化に関する確率論的評価手法の確立

研究課題名（英文） Evaluation method of lumping process of runoff models based on their stochastic response characteristics

研究代表者

田中 岳 (TANAKA GAKU)

北海道大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：90333632

研究成果の概要（和文）：本研究では、自己相似性をもつ模擬された流域に対して、降雨量の確率特性が既知の条件下での流出量の確率特性を理論的に推定し、シミュレーション法に基づいて、その妥当性を示した。その結果から、流域面積が百数十 km<sup>2</sup> 以下の場合には、流域面積で基準化された流出高の確率特性は一定とみなしうることを示された。これにより、より拡張された方法として、流出量の確率分布形を含め、流出モデルの集中化の妥当性を評価、議論することが可能となった。

研究成果の概要（英文）： Using a runoff system composed of a hillslope runoff generation model and a channel network, this paper derives theoretical differential equations to calculate the higher order central moments of discharge. Numerical simulation shows the results of cross-checking the validity of the derived equations. The results show the stochastic properties in a steady state are regarded as constant when the catchment area is smaller than one hundred and several tens kilometers square. The results of this study can be applicable to the evaluation method of lumping process of runoff models based on their stochastic response characteristics.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
2011 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：降雨流出モデル，集中化，洪水予測，確率過程，確率応答，確率微分方程式

## 1. 研究開始当初の背景

図-1 は、ある中小河川流域にて生じた洪水氾濫によって破壊された家屋と河岸の被害例である。例えば、本研究の代表者も調査団として参加した災害調査団報告（平成 15 年台風 8 号北海道豪雨災害調査団報告書）では、洪水氾濫のような降雨災害が一度発生する

と、その被害は、水文観測の不十分な地域や河川整備の行き届かない地域で拡大する傾向にあると述べている。ただし、その被災地がおかれた社会構造によっては、地域内の経済活動に災害の影響がでる場合があることにくわえ、地域間や流域間、さらには国家間にまでその影響が波及することもある。した



図-1 洪水氾濫による被害

がって、持続的な流域管理の面からも、洪水氾濫による災害防止や減災害・免災害を目的とした洪水予測は、水工学が扱う重要課題の一つといえる。

これまでに、予測降雨量を入力としたさまざまなタイプの洪水予測システムが提案されてきている。それらは大きく三つのタイプに分けられる。一つ目のシステムは、流出現象を分布型のモデルのみで表現したシステムである。二つ目のシステムは、流出現象の一部、例えばサブ流域に集中型のモデル、サブ流域を結合させた河道網の流れに分布型のモデルを用いたシステムである。三つ目のシステムは、流域全体の流出現象を集中型のモデルで表現したシステムである。これらのシステムがもつ特徴は、ここで述べた第一のシステムから第三のシステムとなるにしたがって、計算された流出特性の解釈が物理的解釈から概念的なものとなり、実用上の利便性も同時に向上するといえる。このような特徴から、実際の河川管理者の洪水予測システムとしては、第二、第三のシステムが採用される傾向にある。この場合、どのような流域スケールに対して、どのようなタイプの集中型のモデルを採用すべきかといった、流出モデルの集中化とその妥当性の評価が未解決のままとなっている。

これまでの流出モデルの集中化は、分布型のモデル（Kinematic Wave モデルや飽和不飽和浸透流モデル）を空間方向に積分し集中型のモデル（貯留方程式）を導くことで行われてきた。例えば、星ら（1982）は、Kinematic Wave モデルを基本モデルに用いて、貯留量と流出量との二価性を表現し、この基本モデルから新たな貯留型流出モデルを提案した。また、高木ら（1981）は、浸透流モデルを基本モデルとして集中化し、貯留方程式をえている。これらの集中化を確率論的に解釈すると、降雨量の平均値の時系列を決定論的関数として、システムからの出力である流出量の平均値を、基本モデルと集中型のモデルとで比較、検討したことになる。高棹ら（1985）は、モンテカルロシミュレーションを用いて、流出モデルの集中化の評価を、流

出量の分散値まで発展させた。その後、本研究の代表者ら（1999）は、降雨量を確率論的に定式化したうえで、システムからの出力である流出量の確率特性（1～4次モーメント）を理論的に示し、その確率密度関数を推定することで、これまでの流出モデルの集中化の評価の手法を一般化した。この評価手法は、モンテカルロシミュレーションとは異なり、任意の降雨時系列を模擬することが可能であり、その点においてもより一般化された手法となっている。ただし、これまでの集中化は、斜面流出が対象である。洪水予測システムとして上記の第二、第三のシステムを採用するためには、集中化の対象となる流域の空間的なスケールを斜面域のスケールから単位流域と河道網とからなるサブ流域のもつスケールにまで拡大する必要がある。

これまでに本研究の代表者（2005）は、二斜面一河道からなる単位流域（小流域）にまで、集中化の対象となる流域スケールを拡大し、降雨量の確率特性が既知の条件のもとで理論的に流出量の確率特性を推定し、その妥当性を示してきた。本研究では、流域スケールをさらに拡大し、二斜面一河道からなる単位流域が河道網によって連結されたサブ流域（山地域規模の小・中流域）において、流出量の確率特性とその確率密度関数を推定し、流出モデルの集中化の妥当性を評価する一般化された手法の確立を目指している。

## 2. 研究の目的

降雨流出系は、一般に確率過程に属するとされている。本研究の目的は、二斜面一河道からなる単位流域が河道網によって連結されたサブ流域（山地域規模の中小河川流域）を対象とした洪水予測システムに対して、入力条件（降雨量）、モデルパラメータ、初期条件を確率論的に定式化し、システムからの出力である流出量の確率特性（1～4次モーメント）、およびその確率密度関数を理論的に推定するところにある。洪水予測システムは、斜面流出と河道追跡のそれぞれをモデル化した分布型のモデルと、サブ流域を一つのタンクとして概念的に降雨流出現象を捉えた集中型のモデルを用いる。

## 3. 研究の方法

サブ流域を分布型のモデルで表現した基本モデルの確率特性（1～4次モーメント）とその確率密度関数と、集中型のモデルのそれらとの比較に基づき、集中型のモデルのモデルパラメータの定式化（物理的意味づけ）を目指す（図-2）。

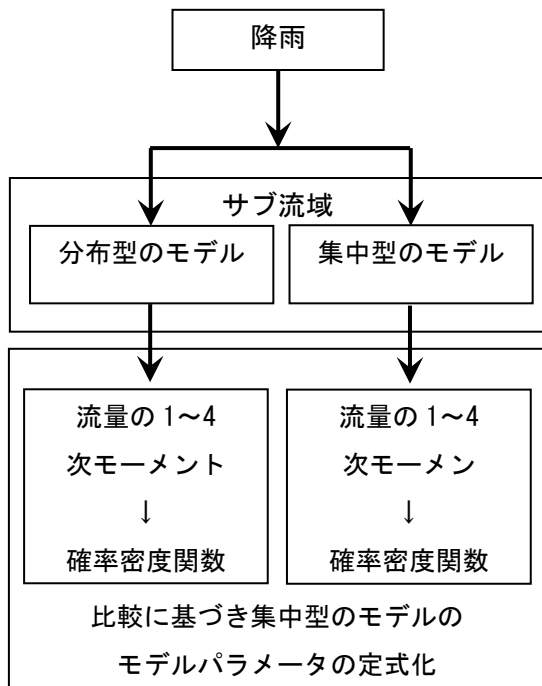


図-2 確率特性の比較

本研究でえられた成果は、定常状態の仮定と線形理論に基づくような特別な条件にくわえて、非定常・非線形な条件下にまで拡張された流出特性の評価を与える。この点は、本研究の成果のもつ革新的部分であると考えられる。また、この集中型のモデルに河道追跡とを組み合わせた洪水予測システムを用いることで、降雨災害の防止や減災害・免災害の技術の国内外への提供の面のみならず、グローバル化した経済活動を維持する面に対しても、本研究の成果が寄与するものと期待される。なお、本研究が取り扱う洪水予測システムそのものは、確率微分方程式により記述される。したがって、本研究が、確率微分方程式の解法を明らかにするものでもあるため、その成果は、不確実性を対象としたさまざまなシステムに対して、その不確実性の伝播する過程を解明することにも適用可能であり、他分野への波及効果も大きいと考えられる。

(1) 地形のモデル化

実際の地図から流域の全体を河道と斜面とに分離した場合、河道に着目すると、その構造は網目状（河道網構造）を成す。この河道網構造は、一般に自己相似性をもつことが知られている。図-3は、実際の流域と同様に、その河道網構造が自己相似性をもつ模擬されたサブ流域を表している。本研究では、この図に示すような、二つのタイプの河道網構造を用いることにする。

(2) 洪水予測システム

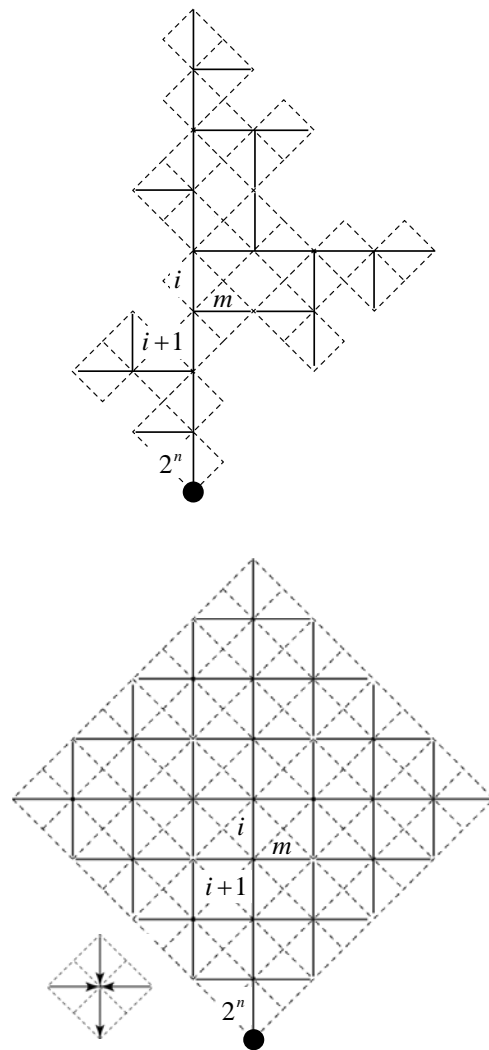


図-3 流域と模擬河道網

(下図：Peano network；  
上図：MV network)

本研究では、斜面流出には、例えば藤田(1981)の研究成果から貯留型流出モデル（集中型のモデル）を用い、河道追跡にもChezy則にしたがうKinematic Waveモデルを集中化したモデルを用いることにする。この集中型のモデルのみにより構成された洪水予測システムが、流域スケールと流出特性の関係を考えるうえで良く用いられている点から、本研究からえられた成果も同様な妥当性をもつものと考えられる。

(3) 流出モデルの確率応答特性（時間変化する流量の確率密度関数）の推定

降雨量の1~4次モーメントが既知の条件下で、(2)にて述べた洪水予測システムの確率特性（時間変化する流出量の1~4次モーメント）とその確率密度関数を理論的に推定す

る。

#### 4. 研究成果

本研究では、小・中流域での洪水予測を対象とした流出解析システム構築を前提に、自己相似性を有する模擬された流域に対して、流出量の確率特性(1~4次モーメント)を与える理論式を推定し、その妥当性を示した。さらに、その理論式を解き、流出量の確率特性と流域面積との関係を検討した。その結果、流域面積にて基準化された流出高の確率特性の定常解は、流域面積が百数十 $\text{km}^2$ 以下の場合には、一定とみなしうることが示された。このことは、流出モデルを集中化する際の流域面積に関する制限を確率論的に説明する上で有用と考えられる。

また、流出量の時間変化する確率分布形の推定が可能となった。その結果、定常状態での確率分布形はガンマ分布とすることが示された。このことは、経験的に計画流量がガンマ分布や対数正規分布となることを、理論的に裏付けるものと考えられる。

本研究では、降雨量のみを取りあげ、それが定常確率過程である場合の解析に止まっている。今後は、降雨量の非定常性も考慮した上で、集中化する際の流域面積に関する制限を明らかにするなど、より拡張された集中化の妥当性の評価手法を検討する必要がある。

#### 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)

[雑誌論文] (計3件)

①田中岳, 八幡江里子, 田中梢: 流出モデルの確率応答特性評価に基づく集中化に関する研究, 水工学論文集, 第54巻, pp. 499-504, 2010, 査読有。

②田中岳: 流出モデルの確率応答特性評価に基づく集中化に関する研究-流出量の高次モーメントの導出-, 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 67, No. 4, pp. I\_523-I\_528, 2011, 査読有。

③田中岳: 流出モデルの確率応答特性に基づく集中化に関する基礎的研究-降雨量が互いに独立な確率変数の場合-, 水文・水資源学会2011年度研究発表会要旨集, pp. 54-55, 2011。

④田中岳: 斜面と河道流出からなる流出システムの確率応答特性-降雨量が互いに独立な確率変数の場合-, 土木学会北海道支部論文報告集, 第68号 CD-ROM, B-17, 2012。

[学会発表] (計4件)

①田中岳, 八幡江里子, 田中梢: 流出モデルの確率応答特性評価に基づく集中化に関する

研究, 土木学会水工学講演会, 2010年3月5日, 札幌。

②田中岳: 流出モデルの確率応答特性評価に基づく集中化に関する研究-流出量の高次モーメントの導出-, 土木学会水工学講演会, 2011年3月10日, 東京。

③田中岳: 流出モデルの確率応答特性に基づく集中化に関する基礎的研究-降雨量が互いに独立な確率変数の場合-, 水文・水資源学会2011年度研究発表会, 2011年8月31日, 京都。

④田中岳: 斜面と河道流出からなる流出システムの確率応答特性-降雨量が互いに独立な確率変数の場合-, 土木学会北海道支部年次技術発表会, 2012年2月2日, 札幌。

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

田中 岳 (TANAKA GAKU)  
北海道大学・大学院工学研究院・助教  
研究者番号: 90333632

(2)研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者

( )

研究者番号: