

山地および都市流域における流域特性が洪水ピーク流量に与える影響

中央大学大学院 学生会員 ○青木 啓祐
中央大学大学院 学生会員 諸岡 良優
中央大学 フェロー会員 山田 正

中央大学 学生会員
中央大学 研究開発機構
東芝インフラシステムズ (株)

干場 希乃
寺井しおり
吉見 和祐

1. 研究背景と目的

降雨の観測精度が向上している一方で、観測手法の違いや雨量観測精度の限界から、降雨量の観測値には不確実性が内在する。降雨は、地上雨量計やレーダによって観測される。しかし、レーダ雨量計により、観測される降雨と地上雨量計によって観測される降雨は時空間的に異なるものである。例えば、XバンドMPレーダは1分毎に降雨を観測するのに対して、地上雨量計は10分間に降った雨を平均化するため、観測手法により、観測される降雨量は異なり、不確実性を有する。雨は空間的に一様に降っているわけではなく、観測地点の場所によって観測される雨は異なる。また、観測という過程を経る以上、観測誤差はつきものである。つまり、流域平均雨量の算出に用いた観測点の場所や平均する観測点の個数によって、算出される総雨量には不確実性が内在する。¹⁾

このような水文諸量における不確実性を扱う先行研究として吉見ら¹⁾は、流出解析に確率過程論を導入し、降雨の不確実性と流出高の確率密度関数の時間発展の関係を明らかにしている。このような雨量データの時空間分布の違いによる不確実性は、雨量データが密にある日本でも、まだ整備の進んでいない新興国でも考慮すべき問題であると考えられる。図-1は流域平均雨量のハイトグラフを示したものである。同図より、雨量データが少ない場合パターンBでは、同一の雨にも関わらずパターンAに比べて流域を捉えられていないため、流域平均雨量が小さく算出されている。

本研究では、新興国における検討を想定し、雨量計の少ない地域において、流域平均雨量の算出に用いる雨量計の位置や個数が河川流量に与える影響を定量的に評価することを目的として、人為的に粗くした雨量データを用いて降雨流出解析を実施した。

具体的には、雨量データが十分に整備されている日本において流域面積・流域特性の異なる4つの山地流域と1つの都市流域を対象とした。そして、各流域において流域平均雨量の算出に用いた雨量データの数を間引き、流出計算を行い、その結果を比較した。

2. 流出計算手法の概要

雨量データは、十分に密な流域を再現するために、レーダ雨量計の各格子雨量を雨量観測所1つとし、呉ら²⁾の既往研究を参考とし、対象5流域において1つあたりの流域面積が 100km^2 となるようにサブ流域を分割した。各流域において、レーダ雨量計の格子雨量の最大個数から、雨量計1つあたりの支配面積が $N\text{km}^2$ となるように任意の個数を決め、その個数に対してランダムに100ケースずつ雨量計を抽出し、それぞれのケースにおいて斜面計算を行った。斜面計算は吉見ら¹⁾の提案した鉛直浸透機構と斜面計算を分離した降雨流出モデルを用いた。このモデルは、山腹斜面が複数の層で構成されていると考え、各層

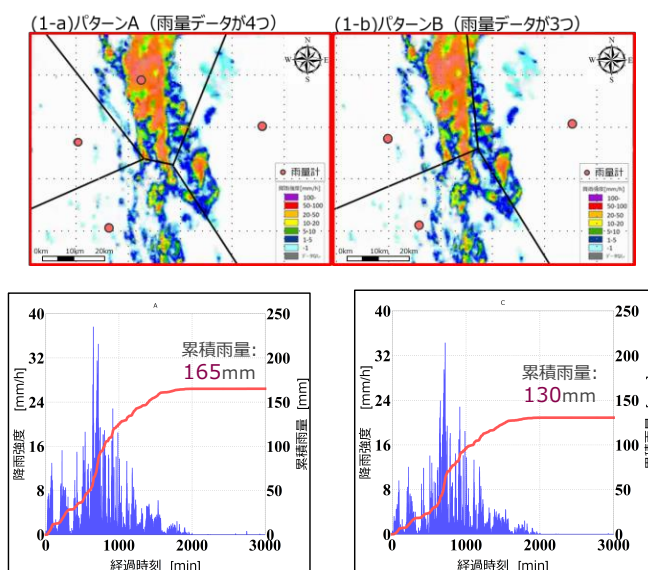


図-1 流域平均雨量のハイトグラフ

における鉛直浸透量と流出に寄与する雨量の連続関係から得られた鉛直浸透機構と、山田³⁾によって提案された単一斜面における降雨流出の基礎式を組み合わせた集中型の流出モデルである。

3. 降雨の空間解像度が洪水ピーク流量に与える影響

河川のピーク流量が有するばらつきを評価するために、各ケースの流出計算において100本のハイドログラフから洪水ピーク流量の変動係数を算出した。

図-2は、降雨イベントごとの変動係数の平均値とそれぞれの流域の回帰曲線の及び雨量計1つあたりの支配面積が同一の時の変動係数の値をプロットしたもの(点線)である。また、同図は、変動係数と流域平均雨量の算出に用いた雨量計1つあたりの支配面積の関係を図-2に示す。同図より、山地流域と都市流域に分けて洪水ピーク流量のばらつきについて考察した。

まず、山地流域では、雨量計1つあたりの支配面積が 10km^2 以下の場合では、洪水ピーク流量の変動係数(洪水ピーク流量のばらつき)はほぼ横ばいであることがわかる。それに対して、流域平均雨量の算出に用いた雨量計1つあたりの支配面積が 10km^2 以上になると、洪水ピーク流量の変動係数は、流域平均雨量の算出に用いた雨量計1つあたりの支配面積が大きくなるにつれて増加している。以上の事柄より、流域に雨量計が少ない場合、洪水ピーク流量のばらつきは流域によらず大きくなることが分かる。これは流域平均雨量が1つ1つの雨量観測所の影響を顕著に受けるためであると推測される。

都市流域における変動係数のばらつきが小さくなるのは、雨量計の支配面積が 0.1km^2 /個程度の場合であることがわかる。これは、都市のように流域の表面がコンクリート等で覆われているため、流出時間が

キーワード 降雨の空間分布、洪水ピーク流量、変動係数、流域特性

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 Tel 03-3817-1805 E-mail : a14.n7rr@g.chuo-u.ac.jp

短い流域では、雨量計で認識される雨がほぼ 100%流出に寄与するため、1 つ 1 つの雨量計で観測される降雨が流量に大きな不確実性を与えると推測される。

4. 流域特性を考慮した洪水ピーク流量の変動係数

図-2 より、雨量計 1 つあたりの支配面積が 10km² より大きい範囲では、流域ごとに変動係数の増加の傾向が異なる。これは、流域ごとに流域の特性(面積、標高差、河川長等)が異なるためと考えられる。

そこで、変動係数と雨量計 1 つあたりの支配面積の関係について流域特性を考慮して検討する。当該研究を行うにあたり、流域形状係数と流域平均勾配を採用した。流域形状係数とは、流域の形を表す値であり、この値が 0 に近いほど、流域の形が細長いことを表す。流域形状係数と流域平均勾配は以下の式により算出される。

$$F = \frac{B}{L_m} = \frac{A}{L_m^2} \quad (1)$$

$$M_s = \frac{E_{max} - E_{min}}{L_m} = \frac{\Delta E}{L_m} \quad (2)$$

ここに、 F :流域形状係数、 L_m :河川長[km]、 B :流域平均幅[km]、 A :流域面積[km²]、 M_s :流域平均勾配、 ΔE :流域内の標高値の最大値と最小値の差である。算出された流域特性を表す諸量を表-1に示す。表-1より、利根川上流域と大井川流域で流域平均勾配が相対的に等しく、安倍川流域と鶴見川流域で流域形状係数が相対的に同等の値となることが分かる。そこで、それぞれの組み合わせについて比較を行うことで流域特性の影響を検討する。

図-3 より、利根川上流域と大井川流域における回帰曲線を比較すると、同一の支配面積に対して大井川流域の変動係数が大きくなることがわかる。つまり、流域形状係数が小さい(流域の形が縦に長い)ほうが変動係数が大きくなると考えられる。次に、鶴見川流域と安倍川流域の回帰曲線を比較する。図-3 より、同一の支配面積に対して安倍川流域の変動係数がわずかに大きくなることがわかる。つまり、流域平均勾配が大きい(流域内の標高差が大きい)ほうが変動係数が大きくなると考えられる。例えば、流域形状係数が 0.25 の流域で雨量計を整備しようとして、流量のばらつきを 2 割程度まで考慮して整備しようとする場合、雨量計は 180km²に 1 つの間隔で、流量のばらつきを 1 割程度まで考慮しようとして整備しようとする場合、雨量計は 85km²に 1 つの間隔で整備すればよいということが言えるようになった。

また、本研究で扱った曲線を算定することで、雨量データの空間分布による不確実性を定量的に評価することができるようになった。

以上より、流域の形が縦に長く流域内の標高差が大きいほど、雨量計の個数が少ない場合において、流域平均雨量の不確実性が大きくなるといえる。これは、山田ら⁴⁾によって示されているように、山地では平地に比べ 3 割程度雨が增えるため、雨量計の個数が少ないと山地部と平地の降雨量の違いを捉えられないためと考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

表-1 各対象流域の流域特性値

流域	流域形状係数	流域平均勾配
利根川上流域	0.32	20.01
安倍川流域	0.22	11.12
大井川流域	0.05	18.85
鶴見川流域	0.16	5.94
渋谷川流域	0.70	7.97

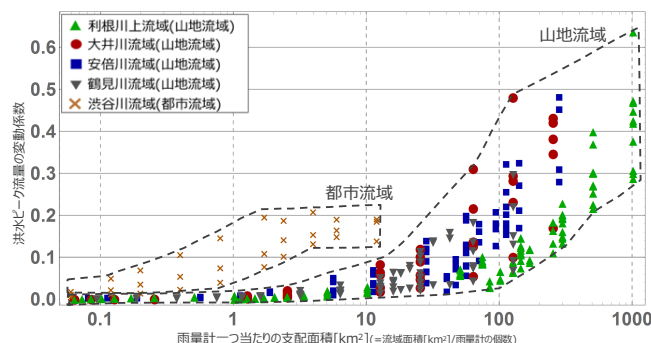


図-2 洪水ピーク流量の変動係数と雨量計 1 つあたりの支配面積の関係

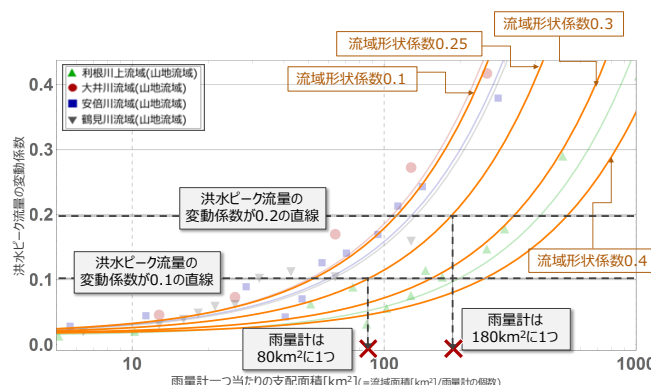


図-3 流域特性を考慮した洪水ピーク流量の変動係数と雨量計 1 つあたりの支配面積の関係

- 雨量計 1 つあたりの支配面積が 10km² より大きい範囲では、流域の形が縦長で流域内の標高差が大きいほど洪水ピーク流量の不確実性は大きくなる。
- 例えば、流域形状係数が 0.25 の流域で雨量計を整備しようとして、流量のばらつきを 2 割程度まで考慮して整備しようとする場合、雨量計は 180km²に 1 つの間隔で、流量のばらつきを 1 割程度まで考慮しようとして整備しようとする場合、雨量計は 85km²に 1 つの間隔で整備すればよい。

6. 参考文献

- 吉見和紘：確率過程論に基づいた降雨流出過程における不確実性評価の理論的枠組みの提示，土木学会論文集，Vol72, No4, I-1225-1230, 2016.
- 呉修一，下坂将史，山田正：降雨流出における流域スケールに応じた斜面と河道の効果に関する研究，水工学論文集，第 51 巻，pp-259-264，2007.
- 山田正：山地流出の非線形性に関する研究，水工学論文集，第 47 巻，pp.259-264, 2003.
- 山田正，日比野忠史，荒木隆，中津川誠：山地流域での降雨特性に関する統計的解析，土木学会論文集，No.527, pp1-13, 1995.
- 吉川秀夫：河川工学，朝倉書店，pp3-5, 1996.