

山地流域の流出特性に関する比較研究

国土技術政策総合研究所 ○内田太郎・林 真一郎・岡本 敦
気象工学研究所 友村光秀・佐藤 悠
東京大学 浅野友子

1. はじめに

山地流域の流出特性を把握することは、砂防計画の立案、総合土砂管理、天然ダム等の危機管理などの上で、極めて重要である。しかしながら、山地流域の流出機構は様々な流出経路、流出機構が影響を及ぼすため、各種の流出モデル、流出解析手法が提案・構築されているにもかかわらず、山地流域の流量を降雨量から精度良く予測することは依然として難しい。山地流域の降雨流出応答の把握については、詳細な斜面、小流域観測に加えて（内田、2004）、比較水文学的なアプローチが用いられてきた（例えば、虫明ら、1981）。しかし、これまでの比較水文学的な研究の多くは、流況、水収支に着目したものが多く、降雨時の応答について比較検討したものは必ずしも多くない。

そこで、本研究では、全国の山地流域の降雨、流量データを収集した。その上で、豪雨時の降雨に対する流出率に着目し、①山地流域の流出率の実態、②山地流域の流出率をコントロールする要因、について分析を行った。

2. データと方法

2.1 対象とした流域

本研究では、国土交通省水文水質データベース中に流量データがある流域および国土交通省の直轄砂防事務所取得された流量データがある流域を対象とした。その上で、流量データが2年以上揃っており、流域に市街地が広く含まれておらず、流域内にダムがない流域で、流域面積が100km²以下の流域を対象とした。その結果、対象とする流域は164となった（図1）。図2に対象流域の流域面積の分布を示した。また、産総研の総合地質データベースに従い、流域の代表的な地質から、表1に示す区分を行った。

2.2 降雨流出特性の解析手法

雨量データは水文水質データベースおよびアメダスの観測点から抽出し、計1017地点のデータを収集した。その上で、ティーセン法により、各流域に対して流域平均雨量を算出した。その上で、24時間の無降雨期間がある場合、独立した降雨イベントとして整理した。降雨イベントごとに、総雨量、総流出量を算出した。洪水継続時間は一律、降雨終了後24時間とした。

降雨量と流量の関係評価するにあたっては、千葉・水山（2013）が示した雨量（ R ）と損失量（ L ）に関する以下の式を用い、流域ごとに係数 a 、 b を最適化した。

$$L = a(1 - \exp(-b/R))$$

2.3 影響要因の検討

本研究では、総降雨量50mm以上の全降雨イベントの流出率を対象に、ステップワイズ法による重回帰分析を用いて、流出率に影響する要因の抽出を行った。

影響要因の検討にあたっては、まず、候補と考えられる要因を抽出し、各降雨または流域の値を算出した。具体的には、降雨条件（降雨継続時間、ひと雨雨量、最大24時間雨量、最大1時間雨量、初期流入量、前期無降雨期間、API）、気候条件（年最大日雨量最大値、年最大日雨量平均値、年最大時間雨量最大値、年最大時間雨量平均値）、地形条件（流域面積、流路長、流域平均幅、形状係数、最低標高、標高差、比積分、平均高度、起伏比）である。分析結果の良否については、AICを用いて評価した。また、要因の影響度を評価するために、抽出された要因については、標準化重回帰係数を求めた。

さらに、本研究では、地質の影響を加味するために、

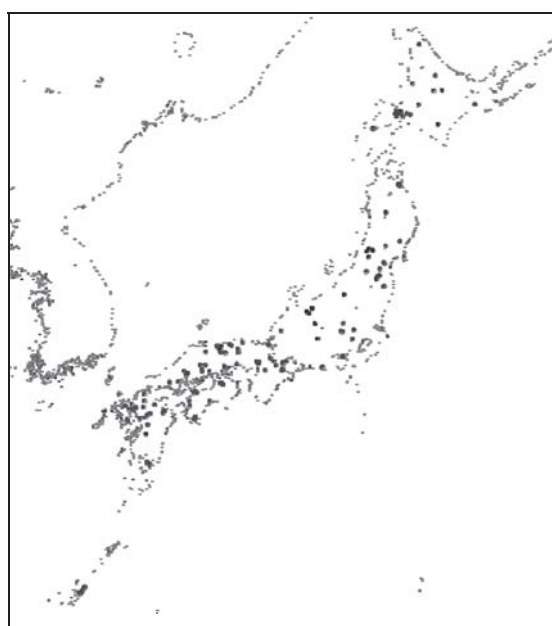


図1 対象流域の位置

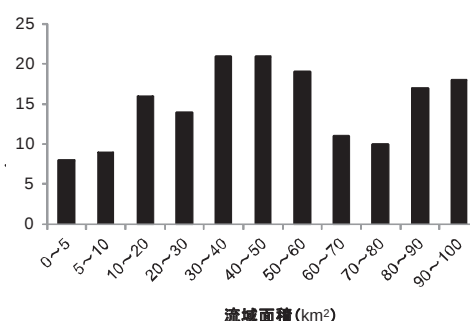


図2 流域面積の分布

表1 地質別の流域数

	中古生界	第三系	第四系	計
火山岩	7	26	28	61
変成岩・深成岩	34	7	0	41
堆積岩	34	22	6	62
計	75	55	34	164

地質区分ごとにも同様な手法で、重回帰分析を行い、要因の抽出及び標準化重回帰係数の算出を行った。

3. 結果と考察

3.1 流出特性値

図3に千葉・水山の手法に従い求めた係数a、bの値の分布を示した。図に示すように、係数a、bの値は流域によって大きく異なり、様々であった。係数aは、最大と最小を比較すると2オーダー以上の違いがあったが、約9割の流域で30~300であり、40%強の流域が70~150の範囲であるという、比較的狭い範囲に集中するような分布であった。一方、係数bも同様な傾向を示し、最大と最小を比較すると3オーダー近くの違いがあったが、約9割の流域で0.002~0.02であり、40%強の流域が0.005~0.012の範囲であった。

次に、流域ごとの係数a、bの値をプロットすると図4のようになる。図に示したように両者は明瞭な相関が見られた。このことから、1つの係数が求めれば、残りの係数も概ね推定できることが分かる。

3.2 影響要因の抽出結果

図5に、標準化重回帰係数の算出結果を示す。図に示したように、降雨条件の内、最大24時間雨量、ひと雨雨量は、地質区分によらず、高い標準化重回帰係数を示した。また、初期流入量、前期無降雨期間も全ての地質区分で抽出され、流出率への影響が大きいことが分かる。

一方、これら誘因に比べて、素因では、地質区分によらず、影響因子として共通に抽出された因子はなく、過半数の4つ以上の区分で同じ傾向（正または負）を示した因子は、年最大日雨量の平均値と流域平均幅の2因子のみであり、大半の地形指標は抽出されないか、抽出された場合であっても、地質区分によって回帰係数の正負が異なる場合が多かった。

本解析結果は年最大日雨量が大きい流域ほど、流出率が小さいことを示している。降雨規模が同じ場合、流出率が小さくなる要因は、深部浸透量の増大または貯留量変化量の増大が考えられる。さらなる解析・検討が必要であるものの、豪

雨頻度が高い地域では、地下深くまで風化が進み、深部浸透量や貯留量が増大している可能性を示していると考えられ、興味深い。

また、流域平均幅が大きくなるほど流出率が小さくなる解析結果は、斜面長が短いほど流出率が高くなる傾向があることを示しており、古くから指摘されてきている変動寄与域の概念と矛盾しない。

4. まとめ

今後の検討が必要ではあるが、現時点で得られた成果は以下の通りである。

① 千葉・水山（2013）の手法で流出応答特性を数値化することができる。同手法を用いた場合、多くの流域で係数はある程度の狭い範囲に収まるようである。

② 重回帰分析で影響因子の抽出を試みた結果、多くの地形因子は抽出されず、流出率への寄与は小さい可能性が考えられた。むしろ、流出率は気候的な指標である年最大日雨量と関係が見られた。

【参考文献】内田（2004）：砂防学会誌, Vol.57, No.2, pp. 58-64／虫明ら（1981）土木学会論文集 Vol.309, pp.51-62／千葉・水山（2013）：砂防学会誌, Vol.65, No.5, pp. 50-55／

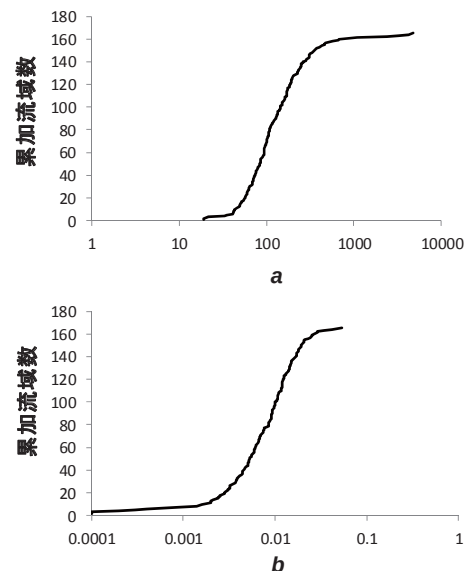


図3 係数a、bの分布状況

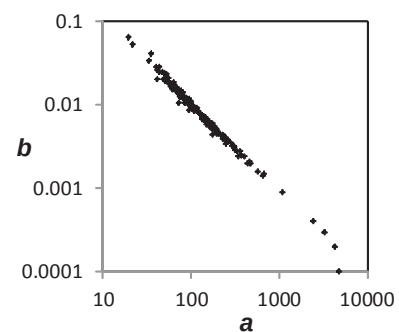


図4 係数a、bの関係

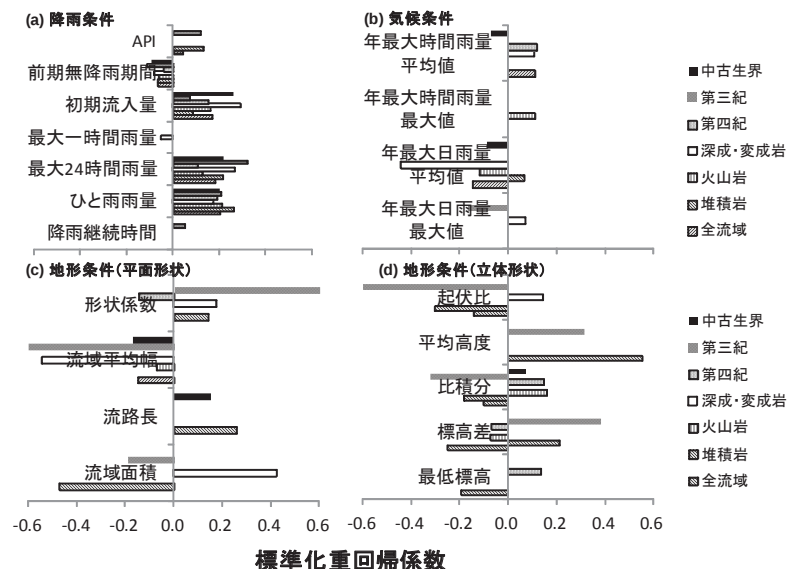


図5 標準化重回帰係数 空欄は抽出されなかった因子