

河川合流点での水位・流量ピーク時刻の 集中を支配する降雨および流域特性の 分析と集水域間の比較 — 荒川水系入間川流域を対象として —

ANALYSIS AND COMPARISON AMONG CATCHMENT AREAS OF RAINFALL AND BASIN CHARACTERISTICS DOMINATING CONCENTRATION OF WATER LEVEL AND DISCHARGE PEAK TIME AT RIVER CONFLUENCE POINTS - FOCUSING ON THE IRUMA RIVER BASIN OF ARAKAWA WATER SYSTEM -

末永博¹・溝口裕太²・田中規夫³・井原和彦⁴・又吉健太⁴
Hiroshi SUENAGA, Yuta Mizoguchi, Norio TANAKA, Kazuhiko IHARA and Kenta
MATAYOSHI

¹学生会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

²正会員 埼玉大学大学院助教 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

³正会員 埼玉大学大学院教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

⁴国土交通省 関東地方整備局 荒川上流河川事務所 (〒350-1124 埼玉県川越市新宿町3-12)

Climate change is expected to cause changes to the spatiotemporal characteristics of rainfall. This change may lead to increased flood discharge due to peak time concentration at river confluence points. The objective of this study was to clarify the spatiotemporal characteristics of rainfall which lead to the concentration of peak times of discharge at river confluence points for the Iruma River basin, Arakawa water system. Runoff characteristics were investigated in each catchment area based on past hydrological data, and the relationship with basin characteristics was clarified by multivariate analysis. By comparing them between each catchment areas, it is estimated that the peak time tends to be concentrated if the peak time of rainfall in Toki River basin is about 2 to 4 hours earlier than Iruma River basin.

Key Words : *Runoff characteristics, peak discharge, concentration of peak time, multivariate analysis, Iruma River basin*

1. はじめに

気候変動は降雨の激甚化に加えて、その時空間特性の変化を引き起こすものと懸念されている¹⁾。これは、複数の河川合流から成る流域という視点に立つと、降雨量の増大による洪水流量の増加だけでなく、降雨の時空間特性の変化が、河川合流点でのピーク時刻の集中による流量増加をもたらす可能性を有しており、洪水氾濫リスクを高める危険性をはらんでいると言える。

他方、河道内の樹林化は、昨今の治水上の課題として広く認識されている。樹林域の拡大は河積阻害を引き起こし、地先の氾濫リスクを高める一方、この貯留機能

は洪水流の伝播速度の低下に貢献²⁾するなど、降雨の時空間特性と同様に、河川合流点でのピーク時刻の変化を介して洪水流量を支配すると考えられる。

本研究では、上記のように洪水流量の増加を引き起こす一因である、河川合流点における流量のピーク時刻の集中に焦点をあて、とりわけ、この集中をもたらす降雨の時空間特性を明らかにすることを目的とする。ここでは、主要5流域から成る荒川水系入間川流域を対象とし、過去の水文データに基づいて降雨の流出時間を求め、それぞれの集水域において降雨の流出特性を把握する。さらに、この流出特性と集水域面積、谷密度、土地利用など流域特性との関係を多変量解析により分析する。これに基づき、各集水域における降雨流出を支配する要因を



図-1 対象とした5流域および水位観測所の位置

表-1 流域および水文観測所集水域の特徴量

河川名	観測所	集水面積 (km ²)	起伏量 (m)	農地 (%)	谷密度 (%)	主流長 (km)	広葉樹林 (%)	主流勾配 (%)
入間川	菅間	715.8	1339.5	17.4%	0.3%	61.1	16.0%	0.2%
	落合橋	219.8	1333.4	8.8%	0.3%	57.4	17.6%	0.3%
	小ヶ谷	216.4	1323.8	8.9%	0.4%	52.1	17.9%	0.4%
	岩根橋	93.4	1246.9	3.1%	1.0%	29.7	18.1%	1.0%
	水明橋	61.3	1175.0	1.5%	3.2%	18.3	24.2%	2.2%
小畔川	八幡橋	39.9	175.9	30.5%	5.7%	14.8	5.1%	0.5%
	落合橋	423.0	880.8	16.3%	0.7%	36.2	17.4%	0.1%
	高坂橋	202.2	859.7	15.3%	0.4%	25.5	18.3%	0.2%
	入西	91.4	772.8	16.9%	1.1%	22.9	29.0%	0.3%
	今宿	65.7	763.2	12.8%	2.2%	19.0	31.7%	0.4%
越辺川	春日橋	36.4	738.2	9.9%	1.4%	12.8	31.8%	0.7%
	梅園橋	23.2	709.3	5.7%	3.1%	6.6	34.9%	1.8%
	坂戸	94.8	858.5	10.9%	1.4%	43.4	9.0%	0.4%
	出世橋	70.7	811.3	3.9%	1.8%	27.8	9.3%	0.8%
	吾野橋	31.1	710.6	1.8%	3.5%	10.1	10.1%	1.9%
高麗川	野本	157.8	878.4	12.3%	0.1%	29.3	21.2%	0.5%
	唐子橋	155.6	871.5	12.1%	0.5%	24.9	21.5%	0.7%
	月田橋	141.4	861.5	10.6%	2.4%	19.2	21.2%	1.2%
	玉川橋	39.2	833.7	7.5%	3.1%	13.1	15.6%	2.7%
	都幾川							

表-2 対象出水の水文量

	最大雨量 (mm/h)	総降雨量 (mm)	流出率 (%)	最大流量 (m ³ /s)	直接流出量 (×10 ⁶ m ³)
2006年	9.9	158.4	0.66	892.2	74.3
2011年	26.2	246.2	0.55	1105.0	97.1
2016年	48.1	183.5	0.55	1248.4	71.8

抽出し、流出および流域特性を集水域間で比較することで、入間川流域における流量のピーク時刻の集中を引き起こす降雨の時空間特性を推定する。

なお、ここで明らかとなる集水域ごとの降雨の流出特性は、対象流域における河道内樹林の管理計画の策定につながる研究成果に発展すると考えられる。すなわち、集水域ごとの降雨流出の時間差を拡大させる樹林管理を実現することができれば、河川合流点での流量のピーク時刻の分散と、これに伴う洪水流量の低減が期待される。

2. 材料と方法

(1) 対象地点

荒川水系入間川流域は、入間川、小畔川、越辺川、都幾川、高麗川の主要5流域から構成される。図-1のように、入間川は下流端で荒川本川と、また荒川合流点から上流7.6kmで越辺川と合流する。

他方、越辺川は荒川合流点から上流9.0kmで小畔川と、上流13.8kmで都幾川、17.4kmで高麗川と合流する。それぞれの水文観測所集水域の特徴量を表-1に示す。ここでは、国土交通省および埼玉県の水位観測所として、入間川9地点（国3地点、県6地点）、小畔川2地点（国2地点）、越辺川7地点（国5地点、県2地点）、都幾川4地点（国2地点、県2地点）、高麗川3地点（国1地点、県2地点）を対象とした。なお、このうち流量データは国管理区間の11観測所に限られており、各河川の下流域に観測データが偏っている。また、気象観測所は、対象流域内およびその周辺を取り囲むように国土交通省と気象庁³⁾が管理する16観測所を対象とした。

(2) 対象降雨

ここでは、入間川流域の下流端に位置する菅間観測所において年最大流量が観測された2006年10月、2011年7月、2016年8月を対象降雨とした（表-2）。2006年は低気圧性降雨であり最大9.9mm/hの比較的弱い雨が長時間に及んだ。また、2011年、2016年は台風性降雨で、それぞれの最大降雨量は26.2mm/h、48.1mm/hであり、2006年に比して短時間であった。菅間観測所集水域（以下、菅間集水域）で比較すると、総降雨量は158.4mm（2006年）、246.2mm（2011年）、183.5mm（2016年）となった。2006年と2016年では、総降雨量は2016年の方が大きいものの、直接流出量は2006年の方が大きく流出率は2006年の方が高い。2011年は総雨量および直接流出量ともに最大であり、流出率は2016年と同程度であった。また、菅間観測所での最大流量は、892.2 m³/s（2006年、確率規模1/2.5程度）、1,105.0m³/s（2011年、確率規模1/3.0程度）、1,248.4 m³/s（2016年、確率規模1/3.5程度）となり、台風性降雨かつ短時間の降雨量が大きい2016年において最大流量が観測された。

(3) 水文データの分析

降雨の流出特性を捉えるために、各観測所における水位のピーク時刻を菅間観測所からの流路長で整理するとともに、それぞれの観測所集水域における降雨の流出時間と流出率を求めた。水位のピーク時刻の空間分布は、対象流域での流出特性を包括的に捉えることを目的としており、流量観測所が限られることから、観測所間の水位のピーク時刻の差異に基づき分析した。詳細は後述するが、ここでは菅間集水域での降雨のピーク時刻を求め、これを基準に水位データを整理した。なお、水文データについては1時間ごとの観測値を用いた。降雨流出率は、総降雨量に対する直接流出量の割合として算出した⁴⁾。なお、流量観測所において、対象降雨の観測データが欠損していた場合は、河

川横断測量のデータに大きな違いがないことを確認した上で、他年の水位流量関係に基づいて水位から流量に変換した。また、降雨の流出時間は、観測所集水域ごとに降雨のピーク時刻を求め、水位ピークとの差とした。ただし、降雨のピーク時刻は、水位ハイドログラフの波形と対応する時刻とした。

水文データを分析する上で基本となる観測所集水域は、国土地理院基盤地図情報の数値標高モデル（2016年、5mメッシュ）⁵⁾をQGISのプラグインであるGRASSの流域分析ツールを実行することで求めた。また降雨特性は、ティーセン法により雨量観測所ごとの支配面積を求め、水位、流量観測所の集水域ごとに降雨のピーク時刻と、平均降雨量を算出した。

(4) 降雨の流出特性の支配要因の分析

本研究では、河川合流点での水位、流量のピーク時刻の集中を引き起こす、降雨の時空間特性を明らかにすることを目的としている。この推定には、降雨の流出時間を観測所集水域ごとに求め、それぞれの集水域における流出時間を支配する諸量を把握する必要がある。ここでは、降雨流出を支配する流域特性の指標として既往研究^{6, 7)}を参考に、表-3に示す21項目を対象とした。次に、これらの算出方法を示す。集水面積、流域周囲長、流路長は、前述の流域分析ツールを用いて求めた上で、流域平均幅（集水面積/流路長）、主流勾配（標高差/流路長）を算出した^{6, 7)}。また谷密度は、集水面積が10,000m²以上を谷として定義し、観測所集水域ごとの密度を求めた^{6, 7)}。他方、最高標高、最低標高、平均標高、起伏量（最低と最高の標高差）および平均傾斜は、数値標高モデルに基づき算出し、平坦地比と急傾斜地比は、集水域に占める傾斜がそれぞれ10°以下および、30°以上の面積割合とした^{6, 7)}。針葉樹林比、広葉樹林比、草地および裸地は環境省生物多様性センターが提供する植生図（1/25,000縮尺）⁸⁾から算出した。森林比、農地比は国土数値情報の土地利用細分メッシュデータ（2006年、2009年、2014年）⁹⁾、クロボク土比は、土地分類基本調査の土壌図（1/200,000）¹⁰⁾を参照した。

さらに、クラスター分析に基づき、各パラメータをグループに分け、グループを代表するパラメータを説明変数として重回帰分析を行い、降雨の流出時間の推定式を求めた。偏回帰係数の大小関係より、説明変数の影響度を比較するために、これら説明変数は標準化（平均0、分散1）した。

3. 結果と考察

(1) 水位のピーク時刻の空間分布

降雨の流出特性を捉えるために、各観測所における水

表-3 流域特性の指標

集水面積	流域周囲長	流路長	主流勾配	流域平均幅
流域集中度	谷密度	流域平均傾斜	平坦地比	急傾斜地比
針葉樹林比	広葉樹林比	草地比	裸地比	森林比
農地比	クロボク土比	最高標高	最低標高	平均標高
起伏量				

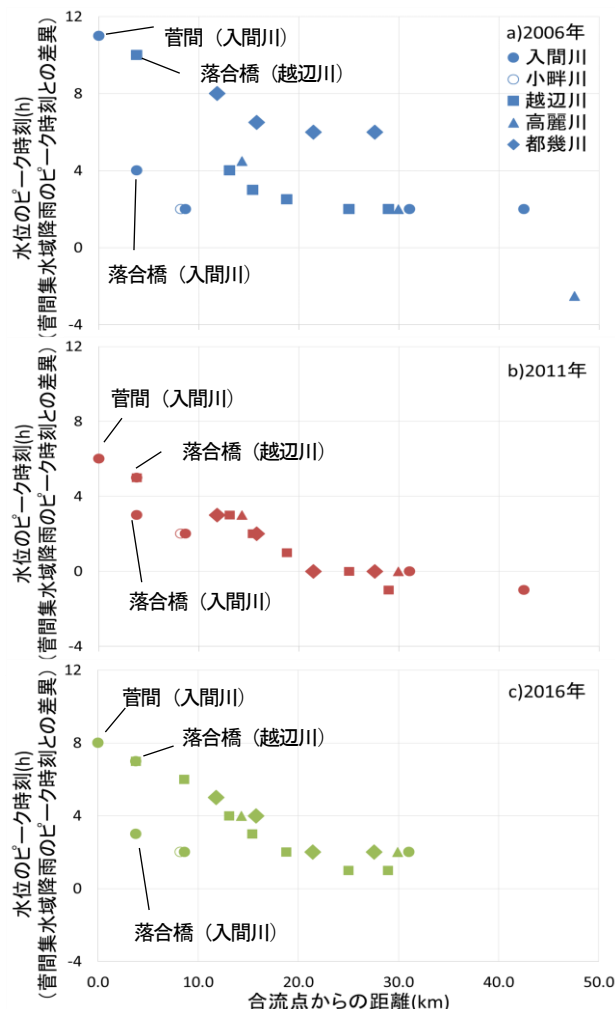


図-2 菅間集水域における降雨のピーク時刻と各観測所での水位のピーク時刻との差異 (a) 2006年, b) 2011年 および c) 2016年)

位のピーク時刻と、菅間観測所からの流路長との関係を整理する（図-2a-c）ここでは、菅間集水域での降雨のピーク時刻を基準に、各観測所の水位のピーク時刻を整理している。したがって、水位のピーク時刻が0hの時、当該集水域での降雨のピーク時刻であり、菅間観測所（横軸0.0km）に限ると降雨の流出時間と捉えられる。

水位のピーク時刻は、下流ほど大きくなる傾向にある。とりわけ、菅間観測所からの距離が20.0kmを下回った地点から、この傾向は顕著である。これより上流は流路距離による明瞭な傾向を確認することができない。この理由は、各観測所集水域が100km²以下と小さく、河川流量が小さいために、水位のピーク時刻が河道内における洪水の伝播よりも、谷筋や小河川から流入する降雨に依存するためだと考えられる。

また、降雨の流出時間に焦点をあてると、最も流出に時間を要したのは、降雨のピーク時刻から11時間後に菅間観測所で最大水位が確認された2006年の出水である。なお、2011年の流出時間は6時間、2016年は8時間である。低気圧性降雨であり、弱い雨が長期に及んだ2006年は流出時間が長くなる一方、台風性降雨で短期に集中した2011年と2016年は流出時間が短い傾向にある。

菅間観測所から上流3.8kmに位置する落合橋観測所は、入間川、小畔川、越辺川の水位、流量が観測されている。図-2より、これら3河川の水位のピーク時刻には明瞭な違いが確認される。すなわち、入間川および小畔川（越辺川の背水影響のため菅間観測所から上流8.2kmの八幡橋観測所のデータを参照）は水位ピークが相対的に早く観測（3～4時間程度）される一方で、越辺川は水位ピークが遅く、また変動幅が大きい（5～10時間程度）。

(2) 流量のピーク時刻の集中と流量増加の関係

前述の落合橋観測所における3河川の菅間集水域に占める面積割合は、入間川31%、小畔川6%、越辺川59%（高麗川13%と都幾川22%を含む）である。ここでは、集水域が大きい入間川と越辺川を対象として、水位のピーク時刻の差とピーク流量との関係を整理する。図-2から両河川のピーク時刻の差は、6時間（2006年）、2時間（2011年）、4時間（2016年）となり、2006年の出水において両河川のピーク時刻の差が大きく、2011年は差が最も小さくなった。上記のように、越辺川に比べて水位のピーク時刻は入間川の方が、すべての出水において早い。また、菅間観測所のピーク流量および、落合橋観測所での3河川のそれぞれのピーク流量の積算値を図-3に示す。この積算値の意味は、仮に3河川の流量のピーク時刻が重なった場合に、菅間観測所において観測されたピーク流量だと捉えることができる。なお、ピーク流量の集中度（菅間観測所のピーク流量/落合橋における3河川それぞれのピーク流量の積算値）は、それぞれ0.97（2006年）、0.69（2011年）、0.64（2016年）となった。まず、台風性降雨である2011年と2016年のピーク流量の集中度を比較すると、2011年の集中度が大きく合流後の流量低減が小さい。これは、図-2から明らかなように、2011年の出水は両河川のピーク時刻の差が2016年と比べて小さいことから、流量のピーク時刻の集中が招いた結果だと解釈できる。このような短時間の降雨量が大きい台風性降雨を対象とする場合は、ピーク時刻の分散による最大流量の低減を確認することができた。

2006年は両河川のピーク時刻の差は約6時間と対象とした3出水の中で最も大きいにも関わらず、ピーク流量の集中度は0.97となり最も大きい。これは、低気圧性降雨である2006年の降雨は、比較的弱い降雨が長時間に及んだためだと考えられる。図-4a)に示す、落合橋観測所での水位の時系列データから明らかなように、水位ピークからの低減に時間を要したため、両河川のピーク時刻

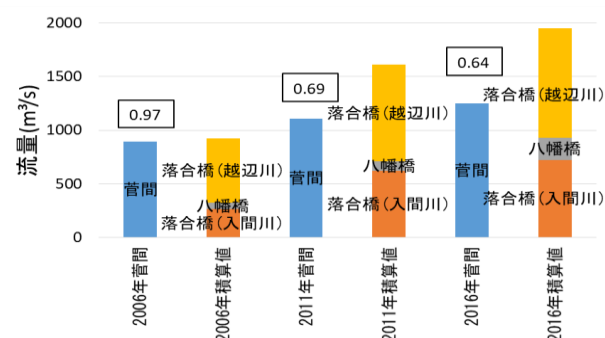


図-3 菅間観測所の最大流量と落合橋観測所における3河川の流量の積算値

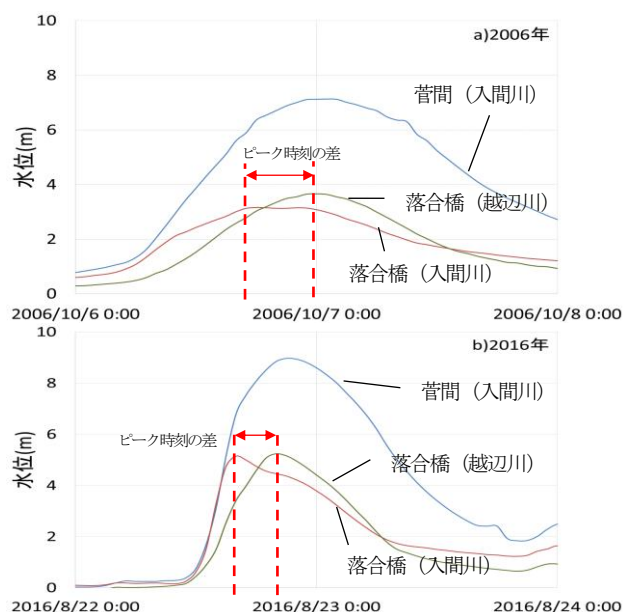


図-4 菅間および落合観測所でのa) 2006年とb) 2016年の水位ハイドログラフ

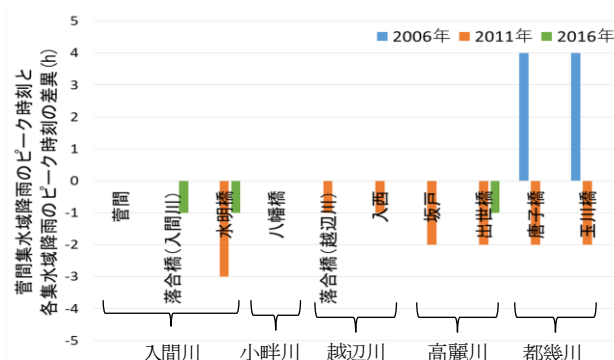


図-5 降雨のピーク時刻の集水域間の比較

が集中していないにも関わらず、菅間観測所でのピーク流量の低減効果が小さいものとなった。

(3) 降雨の時空間特性

水位のピーク時刻の空間分布を図-2に示す。5河川のうち都幾川の4観測所でのピーク時刻は、出水ごとを比較すると、他の河川と比べてばらつきが大きい。これは都幾川流域を除き、比較的同時刻に降雨のピークを迎える一方、都幾川流域は、他の4流域と相対的に降雨の

ピーク時刻に差が生じたためである。図-5には、菅間集水域での降雨のピーク時刻を基準とした、各集水域の降雨のピーク時刻を示している。ここから、都幾川流域（唐小橋、月田橋、玉川橋の集水域；菅間観測所から上流15.8km～27.6km）の降雨のピーク時刻は、2006年において相対的に4時間ほど遅く、2011年は2時間ほど早く、また、2016年は0時間となる。この降雨のピーク時刻は雨雲の動きに依存しており、対象3出水では入間川流域の最北に位置する都幾川流域において、ばらつく結果となった。とりわけ、2006年の低気圧性降雨は、台風性降雨と比べて雨雲の動きが遅く、また、明瞭な降雨ピークを持たない降雨特性であったことが、ばらつきの要因だと考えられる。

さらに、図-2b)から明らかなように、都幾川流域における降雨のピーク時刻が早まることは、落合橋観測所での入間川と越辺川の水位のピーク時刻の集中を招くことがわかる。したがって、入間川流域（落合橋、面積割合31%）と都幾川流域（面積割合22%）における降雨のピーク時刻の差が、水位、流量のピーク時刻の集中を支配する主因だと推察される。すなわち、入間川（落合橋観測所）は、菅間観測所の集水域での降雨のピーク時刻から3～4時間程度で水位のピークを迎えるため、都幾川流域において、他の4流域と比して降雨のピーク時刻が早いと菅間観測所での水位増加を引き起こす。具体的には、都幾川流域の降雨のピーク時刻が、入間川流域よりも2～4時間ほど早いと菅間観測所の最大水位が増加しやすいと推定される。

(4) 降雨の流出特性の支配要因

降雨の流出時間を支配する流域特性を明らかにする。クラスター分析（ウォード法）の結果、21項目のパラメータは7グループに区分された。各グループの中から、集水面積、谷密度、起伏量、農地、広葉樹林、流路長、主流勾配を抽出し、これらを説明変数、降雨の流出時間を目的変数として重回帰分析を行った。表-4には、分析の結果として得られた偏回帰係数を示す。なお、2(4)で記したように、説明変数は標準化されており、係数の単純な大小関係の比較で流出時間に対する影響度を捉えることができる。表-4より、集水面積、起伏量および谷密度が流出時間を支配する主因であり、集水面積が大きく、起伏量および谷密度が小さいほど流出時間は長くなることわかる。また、これら3項目は、係数の正負の関係において物理的な意味にしたがった結果だと言える⁷⁾。他方、落葉広葉樹林は雨水貯留能が大きく¹¹⁾、集水面積に占める割合が大きいほど流出時間は長くなると想定された。しかしながら、総降雨量が100mmを超える降雨では、広葉樹林の十分な涵養効果が期待できないことが指摘¹²⁾されている。対象とした降雨はどれも総降雨量が100mmを超えており、想定された結果を得られなかつ

表-4 降雨の流出時間を支配するパラメータ

説明変数	係数	説明変数	係数
切片	0.00	農地比	0.03
集水面積	0.75	広葉樹林比	-0.12
谷密度	-0.45	流路長	0.09
起伏量	-0.47	主流勾配	0.13

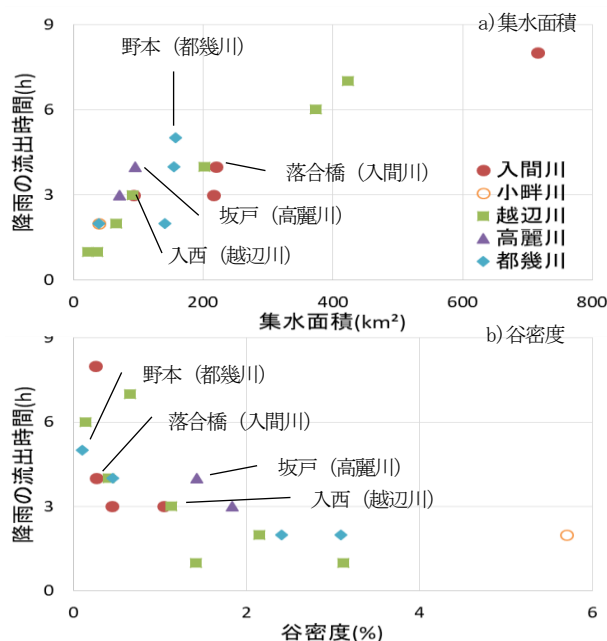


図-6 流域特性であるa)集水面積およびb)谷密度と降雨の流出時間との関係

たと考えられる。また、河道特性を代表する諸量として主流勾配を考慮しており、物理的な意味に基づく勾配が大きいほど流出時間は短くなると考えられた。しかしながら、山間地に設置された複数の堰や、上流区間で顕著に進行する河道内樹林化の影響を考慮していないため、想定された正負関係が得られなかったと推察される。

降雨の流出時間を支配する重要なパラメータとして抽出された集水面積および谷密度と、2016年の出水における流出時間との関係を図-6に示す。越辺川（入西観測所）と高麗川（坂戸観測所）は、集水面積、起伏量および谷密度が似通っているため、比較的同等な降雨の流出時間となった。両流域は流出特性だけでなく、図-5に示すように隣接する流域であるため降雨特性が似る傾向にあり、両河川の合流点では水位のピーク時刻は集中する傾向にある。また都幾川（野本観測所）では、越辺川および高麗川流域と比較して流出時間が大きい。入間川（落合橋観測所）は、他の流域と比べて起伏量が大きいため集水面積が大きく、谷密度が小さいものの流出時間が短い傾向を示す。抽出された主要な3つのパラメータは、土地利用とは異なり、人為的に大きく改変されることは考えにくく、ここで得られた降雨の流出特性は不変的なものとして取り扱うことが可能だと推察される。

(5) 降雨の流出時間の推定式の適用性

降雨の流出時間について、実測値と求めた回帰式による推定値を比較する。図-7より、回帰式は

対象3出水において、比較的高い精度を有していると考えられる。しかしながら、2006年の出水の実測値8～11時間において、回帰式は降雨の流出時間を過少に評価する結果となった。具体的には、野本観測所（都幾川）、落合橋観測所（越辺川）および、菅間観測所である。この実測値と推定値との差異は、都幾川流域における降雨の流出時間を精度よく見積もることが困難であったことに起因している。今後、様々な降雨によって引き起こされた出水を対象に分析を進め、回帰式のパラメータとして降雨特性の導入を検討する必要がある。

回帰式で推定された野本観測所（都幾川）の流出時間は約4.5時間であり、これに野本観測所から落合橋観測所（越辺川）の流下時間を加味すると、都幾川流域での降雨のピーク時刻から約6.5時間後に落合橋観測所で水位のピークを迎えることがわかる。他方、落合橋観測所（入間川）では約3.5時間後である。したがって、都幾川流域の降雨のピーク時刻が入間川流域よりも3.0時間ほど早いと河川合流点での水位のピーク時刻が集中し、菅間観測所の最大水位が増加しやすいことを確認した。この推定値は、実測値（2～4時間）に近い値となった。

4. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

河川合流点での水位のピーク時刻の差異が大きいことが最大流量の低減に寄与した。ただし、降雨が長期にわたり、落合橋観測所（入間川）の水位の低下に時間を要する場合は、十分な低減効果は確認されなかった。

都幾川流域における降雨のピーク時刻が、他の4流域と比べ早まることは、菅間観測所での水位のピーク時刻の集中を招くという結果を得た。具体的には、都幾川流域（野本観測所）の降雨のピーク時刻が、入間川流域（落合橋観測所）よりも2～4時間ほど早いと菅間観測所の最大水位が増加しやすいと推定された。

多変量解析より、集水面積、起伏量および谷密度が流出時間を支配する主因だと示された。これらは、人為的に改変されにくく、降雨流出における流域特性は、不変として取り扱うことができる。したがって、さらなる治水安全度の向上を図るには、河川合流点における流量のピーク時刻の分散に資する集水域ごとの流域特性に基づく河道内樹林の維持管理の実現性について、検討を深めることが重要だと考えられる。

なお、ここで対象とした各出水の確率規模は比較的大きい。したがって、確率規模の小さい出水を含む、広範なデータの分析による再現性の検証を進めることが必要だと考えられる。

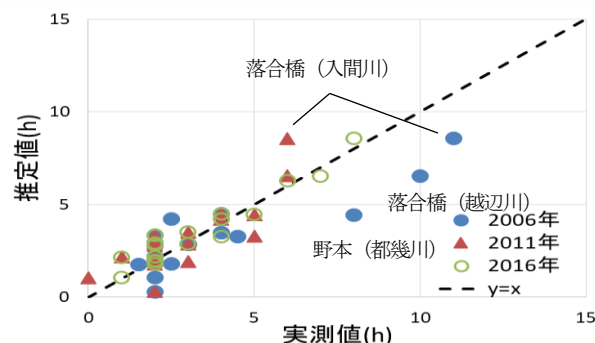


図-7 降雨の流出時間の回帰式による推定値と実測値の比較

謝辞：埼玉県県土整備部河川砂防課より水文データの提供を受けた。ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 星野剛，山田朋人，稲津将，佐藤友徳，川瀬宏明，杉本志織：大量アンサンブル気候予測データを用いた大雨の時空間特性とその将来変化の分析，土木学会論文集B1(水工学)，Vol74，No5，pp.I_13-I-18，2018.
- 2) 佐藤宏明，福岡捷二，出口桂輔：洪水流の伝播機構に及ぼす河道状況の変化とその解析，河川技術論文集，Vol13，pp.327-332，2007.
- 3) 気象庁，<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>（2019.4.2 時点）
- 4) 国土交通省関東地方整備局：荒川における新たな流出計算モデルについて，第4回荒川河川整備計画有識者会議参考資料3，2015.
- 5) 国土地理院基盤地図情報，<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>（2019.4.2 時点）.
- 6) 雨宮有，山根正伸，鈴木透：WebGISを用いた水源地域流域における水文特性値カルテの開発，地理情報システム学会講演論文集，Vol20，ROMBUNNO-P-1，2011.
- 7) 湯浅岳史，齊藤泰久，伊藤覚：重回帰分析を用いた流出特性と流域特性との関連性検討，土木学会年次学術講演会講演概要集第2部，Vol.57，pp.549-550，2002.
- 8) 環境省生物多様性センター：第6-7回自然環境保全基礎調査植生調査報告書，gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html（2019.4.2 時点）.
- 9) 国土数値情報，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>（2019.4.2 時点）
- 10) 国土交通省国土情報課：1/200,000土地分類基本調査，<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/download/index.html>（2019.4.2 時点）.
- 11) 村井宏：広葉樹林地，針葉樹林地および草生地の水文特性の比較，水利科学，No.211，pp.1-40，1993.
- 12) 平野智明，寺嶋智巳，中村智博，境優，青木文聡，名波明菜：針葉樹林地流域と広葉樹林地流域の短期流出特性の違いー降雨イベントの規模が森林流域の水流発生機構に及ぼす影響ー，水文・水資源学会誌，Vol.22，No.1，pp.24-39，2009.

(2019. 4. 2受付)