

神田川上流域の各観測地点に着目した1分値データを用いた 豪雨イベントの時空間相関特性について

首都大学東京	都市環境学部	学生員	○竹内	泰裕
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	河村	明
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	天口	英雄
(株)建設技術研究所		正会員	米勢	嘉智
首都大学東京	都市環境科学研究科	学生員	戸野塚	章宏

1. はじめに

近年、ゲリラ豪雨と呼ばれる局地的な集中豪雨により洪水被害が頻発している。都市域では、人口や生産基盤の集中、都市化や気候変動等に起因した洪水流動の増大などの社会・環境条件により水害リスクが一層増大している。都市域の中小河川では、短時間の集中豪雨により、河川の氾濫や内水による浸水被害の危険性が高いため、詳細な1分値地上観測雨量データや水位観測データを用いた流出解析が行われている¹⁾²⁾。このような流出解析により河川水位の推定を行うためには、詳細な降雨の時間・空間分布を的確に把握することが重要である。

本研究では、東京都の代表的な都市中小河川である神田川の上流域を対象に、東京都に高密度に配置された東京都水防災総合情報システムの1999年4月から2015年3月までの16年間の1分値地上観測雨量データを用い、神田川上流域の5観測地点の30分累加雨量値が25mm以上となる豪雨イベントを抽出し、豪雨時における時空間相関特性について検討を行った。

2. 降雨データ及び対象流域

(1) 降雨データの概要

東京都水防災総合情報システムは東京都が独自に都内の雨量、河川水位などの観測情報をリアルタイムで自動収集し、水害防止活動を行う関係防災機関に提供するものである³⁾。本システムでは1978年から都内9地点で10分降雨量としての観測を開始した。観測地点数は年々増加し、2014年度現在では都内120地点で観測を行っている。雨量の記録間隔は1999年4月以降1分間隔で行っており、本研究ではこの1分値降雨量データの観測が始まった1999年4月から2015年3月までの16年間の雨量データを用いた。

(2) 対象流域の概要

対象とする神田川は、図-1に示すように、東京都三鷹市の井の頭池にその源を発し、中野区の区境付近で善福寺川と合流し、新宿区に流入する流域面積105.0km²、流路延長25.48kmの東京都内の中小河川としては最大規模の一級河川である⁴⁾。本研究では、図-1で赤く囲った井の頭池から善福寺川合流点までの上流域約11.5km²、流路延長約9kmを対象流域として設定した。対象流域内の地上雨量観測地点は図-2に示すとおりであり、流域内には5箇所の地上雨量観測地点(西から、久我山、久我山橋、池袋橋、番屋橋、和田見橋)が配置されている。

3. 豪雨イベントの抽出

豪雨イベントは1999年度から2014年度までの16年間に神田川上流域の5観測地点において発生した降雨を対象として選定した。中小河川では短時間の強降雨が河川水位を上昇させる。平成20年の都賀川水害の例では、7月28日14:30から15:00の30分間に都賀川流域周辺で強い降雨が発生し、河川水位は10分間で1.34mもの急激な上昇を示している。そのため、対象降雨の累加期間を30分とし、対象とした5観測地点において30分累加雨量値が25mm以上の降雨を抽出し、その降雨期間を含む一連の降雨を豪雨イベントと設定した。非常に短時間の集中豪雨の特性を検

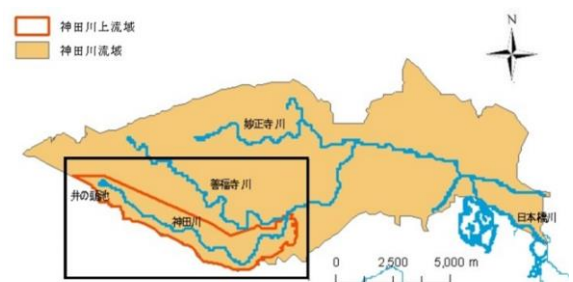


図-1 神田川及び対象とした神田川上流域



図-2 対象流域の地上雨量観測地点位置

キーワード 神田川上流域, 1分値地上観測雨量, 豪雨イベント, 自己相関, 相互相関

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 E-mail : takeuchi-yasuhiro@ed.tmu.ac.jp

討するためには、豪雨イベントを分離する無降雨継続時間を短くする必要があると考えられる。そのため、1 豪雨イベントは、1 時間以上の無降雨状態を伴わない一連の降雨として定義した⁵⁾。

豪雨イベント抽出した結果、久我山で 27 イベント、久我山橋で 24 イベント、池袋橋で 32 イベント、番屋橋で 21 イベント、和田見橋で 28 イベントとなった。神田川上流域の 5 観測地点で延べ 132 イベントだが、隣接する各観測地点間の距離は最大でも 3km 程度と近く、1 つの豪雨が複数の観測地点で抽出されている場合があり、実質 54 イベントである。表-1 に、各観測地点の豪雨イベントにおいて、30 分累加雨量値の大きい上位 5 イベント、30 分累加雨量の抽出開始時刻、30 分累加雨量、降雨継続時間、総雨量、および降雨要因を示す。なお、豪雨イベント名は、久我山観測地点で 30 分累加雨量値が最も大きい豪雨イベントならば、k-1 と設定した。

図-3 に、ib-1、ib-2 のハイレートグラフを示す。表-1 より、ib-1 は、全豪雨イベントで 30 分累加雨量値が最も大きい豪雨イベントである。同じ豪雨が池袋橋以外にも番屋橋、和田見橋で抽出されたが、30 分累加雨量値が 37mm、28mm である。この豪雨は、対象流域の下流部で発生した局所的な豪雨だとわかる。また、表-1 より、k-1、kb-1、ib-2、bb-1、wb-3 は、台風起因する同じ豪雨であり、流域全体で発生した豪雨である。図-3 a) より、ib-1 は、降雨開始時点で強雨が降り、その後弱まり無降雨の期間を伴いながら降雨が継続していることがわかる。また、降雨開始時刻と 30 分累加雨量の抽出開始時刻が同時刻となっていた。図-3 b) より、ib-2 は、弱雨の期間と強雨の期間を繰り返し、降雨の途中で 30 分累加雨量が最大になっていることがわかる。

4. 豪雨イベントの自己相関特性

各観測地点にて抽出した豪雨イベントについて、豪雨イベントの時間的、空間的な相関特性を把握するため、遅れ時間を設定し、相関係数を算定した。遅れ時間は、図-4 に示すとおり豪雨イベントの降雨を基準とし、同時刻の同観測地点または他観測地点の降雨を $\tau=0$ の波形として、この降雨波形に対しての時間差を遅れ時刻として定義した。遅れ時間を「-30~30 分(1 分間隔)」と設定し、遅れ時間ごとの相関係数を算定した。

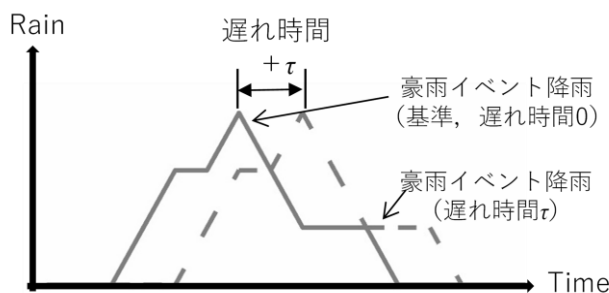


図-4 遅れ時間の概念図

表-1 抽出した各観測地点の豪雨イベントの

30 分累加雨量値の大きい上位 5 イベント

a) 久我山上位 5 イベント (全 27 イベント)

降雨イベント名	30分累加雨量		降雨継続時間 [min]	総雨量 [mm]	降雨要因
	抽出開始時刻	雨量 [mm]			
k-1	2005/09/04 21:55	54	338	237	台風14号
k-2	2014/06/24 14:42	47	164	62	低気圧
k-3	2007/07/29 14:15	41	104	50	大気状態不安定
k-4	2014/09/10 15:50	40	144	81	低気圧
k-5	2006/07/15 13:18	39	26	39	大気状態不安定

b) 久我山橋上位 5 イベント (全 24 イベント)

kb-1	2005/09/04 22:15	52	353	236	台風14号
kb-2	2007/07/29 14:16	41	100	49	大気状態不安定
kb-3	2006/07/15 13:16	40	28	40	大気状態不安定
kb-4	2014/09/10 15:52	40	93	85	低気圧
kb-5	2014/06/29 15:58	39	24	39	低気圧

c) 池袋橋上位 5 イベント (全 32 イベント)

ib-1	1999/07/21 16:03	64	77	68	大気状態不安定
ib-2	2005/09/04 22:28	53	319	186	台風14号
ib-3	2014/06/24 14:49	45	132	57	低気圧
ib-4	2003/10/13 13:38	44	64	63	低気圧
ib-5	2004/10/09 17:10	37	286	111	台風22号

d) 番屋橋上位 5 イベント (全 21 イベント)

bb-1	2005/09/04 22:39	57	241	114	台風14号
bb-2	2014/06/29 16:03	43	19	43	低気圧
bb-3	2008/09/06 21:23	42	41	46	大気状態不安定
bb-4	2002/08/02 15:38	40	176	60	大気状態不安定
bb-5	2003/10/13 13:40	40	97	61	低気圧

e) 和田見橋上位 5 イベント (全 28 イベント)

wb-1	2003/10/13 13:44	48	64	69	低気圧
wb-2	2004/09/04 18:12	44	339	109	大気状態不安定
wb-3	2005/09/04 22:46	44	242	85	台風14号
wb-4	2011/08/26 15:24	44	93	79	低気圧
wb-5	1999/08/29 19:19	43	116	62	大気状態不安定

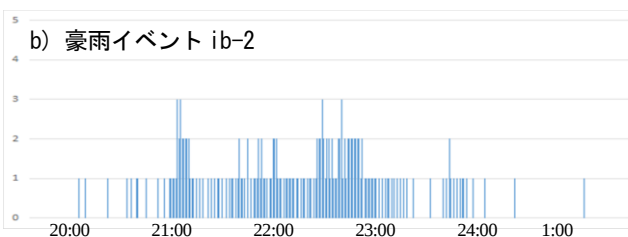
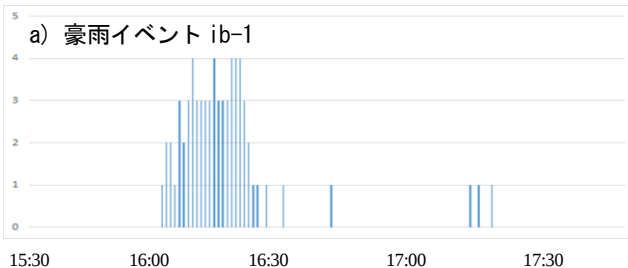


図-3 ハイレートグラフ比較図

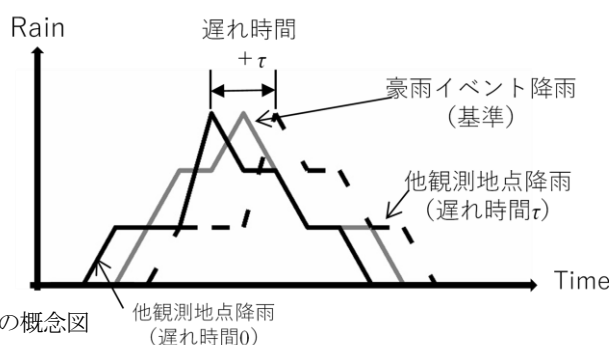


図-5 に、対象流域の中心付近にある池袋橋での 30 分累加雨量値が大きい上位 5 イベント ib-1～ib-5 についての自己相関関数を示す。図-5 より、ib-1 は、遅れ時間が-14～+24 分のとき連続して、相関係数が正の値を示している。遅れ時間が正のときに相関係数を比較的長く保持していることから、降雨開始時点で強雨となり、その後弱まり無降雨の期間を伴いながら降雨が継続していることが推察できる。また、自己相関関数が丸み帯びていること、相関係数の変動が大きいことも特徴として挙げられる。これらの理由としては、ib-1 は、大気状態不安定に起因する降雨で、降雨継続時間が比較的短く、短時間に集中して強い雨が降っているためだと考えられる。ib-2 は遅れ時間の絶対値が大きい場合でも 0.2 程度の相関係数を保持している。この理由としては、ib-2 は台風に起因する豪雨イベントであり、降雨継続時間が比較的長いことだと考えられる。ib-5 も台風に起因する豪雨イベントであり、ib-2 と同じ傾向がみられる。ib-3 は、遅れ時間が-21～+30 分のとき、相関係数が正の値を示している。ib-1 と同様に、遅れ時間が正のときに相関係数を比較的長く保持していることから、降雨開始時点で強雨となり、その後弱まり無降雨の期間を伴いながら降雨が継続していることが推察できる。ib-4 は遅れ時間が-22～+10 分のとき連続して、相関係数が正の値を示している。遅れ時間が負のときに相関係数を比較的長く保持していることから、始めは弱い雨が降り、その後、強雨が降り、30 分累加雨量が最大になったと推察できる。ib-1 以外の 4 イベントでは、遅れ時間ごとの相関係数のばらつきが大きい。この理由としては、豪雨イベントの降雨の記録間隔がばらついているためだと考えられる。

他 4 観測地点の上位 5 イベントでも同様に自己相関関数の検討を行ったが、上述の傾向以外に、豪雨イベント k-5, kb-3, kb-5, bb-2 のように降雨継続時間が 30 分間以下の場合には、相関係数の変動が大きく、相関係数が正の値を示している遅れ時間の期間も短くなる傾向がみられた。この理由としては、降雨継続時間が非常に短いため、相関係数を算出するための雨量データの数が他のイベントに比べて少ないためだと考えられる。

5. 豪雨イベントの相互相関特性

図-6 に、池袋橋での 30 分累加雨量値が大きい上位 5 イベントに対する、他 4 観測地点(西から、久我山、久我山橋、番屋橋、和田見橋)間の相互相関関数を示す。図-6 a) より、相関係数が最大となる遅れ時間は、久我山では-8 分、久我山橋では-6 分、番屋橋では+8 分、和田見橋では+2 分となった。和田見橋を除く 3 観測地点において、相関係数が最大となる遅れ時間が、西の観測地点から東の観測地点の方向に表れていることから、概ね、北西から南東の方向に雨域が移動したと考えられる。ib-1 は、大気状態不安定に起因する豪雨イベントであるため、和田見橋で番屋橋よりも先に豪雨が発生したと考えられる。また、相関係数の変動が大きい理由としては、ib-1 は、降雨継続時間が比較的短いためだと考えられる。図-6 b) より、相関係数が最大となる遅れ時間は、久我山では-13 分、久我山橋では-12 分、番屋橋では+6 分、和田見橋では+14 分となった。各観測地点の相関係数が最大となる遅れ時間が、西の観測地点から東の観測地点の方向に表れており、台風が移動したことにより、西から東の方向に雨域が移動したと考えられる。相関係数の変動が小さい理由としては、ib-2 は、降雨継続時間が比較的長いことだと考えられる。

図-7 に、池袋橋上位 5 イベントに対する久我山との相互相関関数を示す。図-8 に、池袋橋上位 5 イベントに対する和田見橋との相互相関関数を示す。なお、久我山は対象流域の最も西の観測地

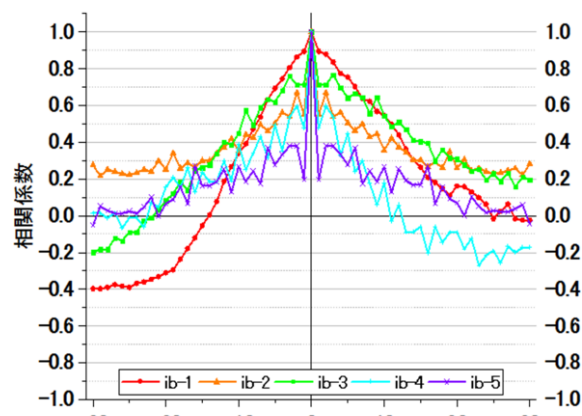


図-5 池袋橋での 30 分累加雨量上位 5 イベントの降雨継続時間における自己相関関数図

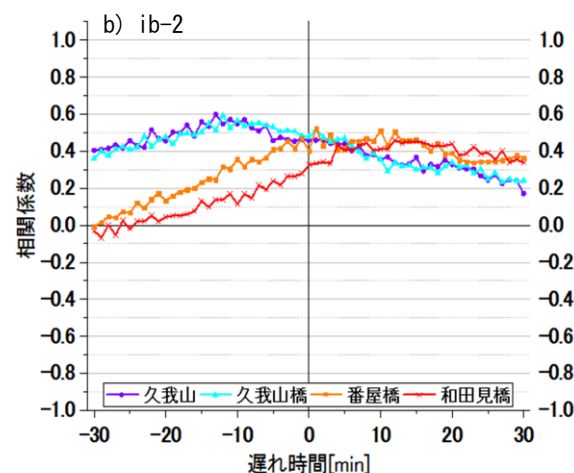
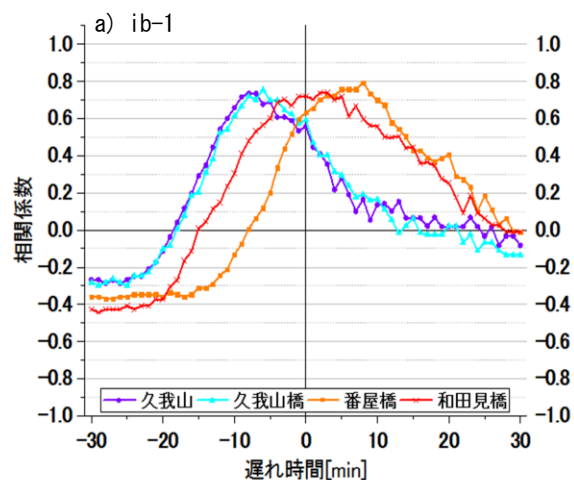


図-6 池袋橋での 30 分累加雨量上位 5 イベントの降雨継続時間における相互相関関数図

点、和田見橋は最も東の観測地点である。図-7より、相関係数が最大となる遅れ時間がib-1～ib-5は、-7, -13, -9, -4, -1分となり、遅れ時間が負のときに相関係数が最大になる傾向がみられた。図-8より、相関係数が最大となる遅れ時間が、ib-1～ib-5は+2, +12, +14, +3, 0分となり、ib-5を除き、遅れ時間が正のときに相関係数が最大になる傾向がみられた。図-8より、ib-5は、台風起因する豪雨イベントであり、池袋橋と和田見橋では、同じ時間に強雨となっていたと考えられる。同様に、久我山橋、番屋橋との相互相関関数についても検討した結果、台風や低気圧に起因する豪雨イベントの際は、観測地点を西から東にみていくと、相関係数が最大となる遅れ時間は、概ね、負の値から正の値に移っていく傾向がみられた。ib-5は、台風に起因する豪雨イベントであるが、池袋橋と各観測地点との遅れ時間が-1～+1分と変動がほとんどなく、対象流域全体に強雨が発生していたと考えられる。ib-1は、大気状態不安定に起因する豪雨イベントであり、図-6 a)で述べた傾向がみられた。他4観測地点の上位5イベントでの相互相関関数についても降雨要因別に同じ傾向がみられた。

また、本研究と無降雨継続時間を6時間と設定して豪雨イベントを抽出した場合⁹⁾を比較すると、相関係数が最大となる遅れ時間や自己相関関数、相互相関関数の波形は同じ傾向がみられた。しかし、相関係数の下限や上限は本研究と比べ大きくなっていった。この理由としては、降雨継続時間が長くなり、相関係数を算出するための雨量データの数が増えたためだと考えられる。

6. むすび

本研究では、1分値地上雨量データを用い、神田川上流域の5観測地点における30分累加雨量値が25mm以上となる一連の降雨を豪雨イベントとして抽出し、時空間相関特性について検討を行った。まず、観測地点ごとの30分累加雨量値が大きい上位5イベントに対する自己相関関数について検討した結果、降雨継続時間等の影響により、豪雨イベントごとの自己相関関数は大きく異なっていた。次いで、上位5イベントに対する他の観測地点との相互相関関数について検討した結果、豪雨イベントごとに相関係数が最大となる観測地点や遅れ時間が大きく異なっていた。また、観測地点を西から東にみていくと、相関係数が最大となる遅れ時間は、概ね、負の値から正の値に移っていく傾向がみられた。これらの豪雨イベントについては、降雨要因により、雨域が移動していると示唆された。その他にも、対象流域の局所的な場所でのみ強雨が発生している豪雨や、対象流域全体で強雨が発生している豪雨もあると示唆された。今後は、このような豪雨イベントについて、より詳細な時空間相関特性を把握するために、地上雨量データと降雨の空間分布を把握できるレーダ雨量データを併用した検討をする必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝: 地物データ GIS を用いた新たな地物指向分布型都市洪水流出解析モデルの提案, 土木学会論文集 B, Vol.63, No.3, pp.206-223, 2007
- 2) 高崎忠勝, 河村明, 天口英雄, 荒木千博: 都市の流出機構を考慮した新たな貯留関数モデルの提案, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.3, pp.217-230, 2009.
- 3) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝, 荒川大樹: 東京都水防災システム降水データの特性, 水文・水資源学会 2007 年度研究発表会要旨集, pp.14-15, 2007.
- 4) 東京都立大学土木工学教室編: 都市の技術 (技報堂出版, 2001), pp.32-41
- 5) 戸野塚章宏, 河村明, 米勢嘉智, 天口英雄: 都市中小河川流域における無降雨継続時間を考慮した豪雨イベント抽出に関する一考察, 水文・水資源学会 2016 年度研究発表会要旨集, pp.152-153, 2016.
- 6) 戸野塚章宏, 河村明, 天口英雄, 米勢嘉智: 1分値地上観測雨量データを用いた神田川上流域における豪雨イベントの観測地点間の相関特性について, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会公演概要集, CD-ROM 版(II-30), 2016.

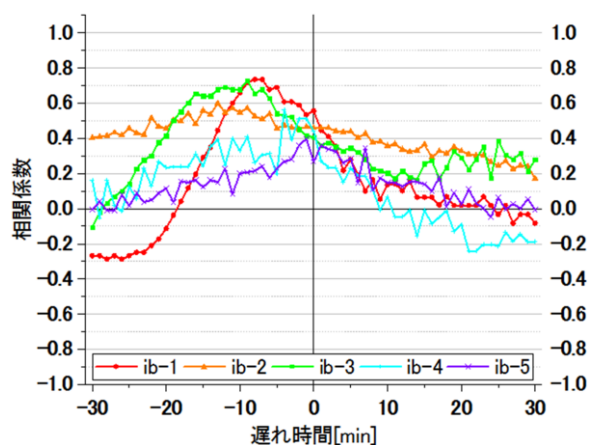


図-7 池袋橋上位5イベントに対する久我山との降雨継続時間における相互相関関数図

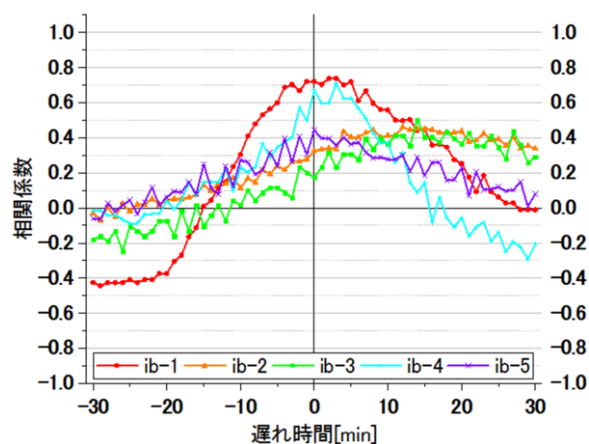


図-8 池袋橋上位5イベントに対する和田見橋との降雨継続時間における相互相関関数図