

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

首都大学東京	都市環境科学部	学生員	○戸野塚 章宏
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

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る洪水被害が頻発している。都市域の中小河川では、短時間における集中豪雨や都市化の影響によりいわゆる「都市型水害」が毎年のように発生し、浸水被害も甚大なものとなっている。これに伴い、東京都においても降水パターンや豪雨・少雨の変動特性など水文気象現象の解析が重要な課題となってきている。現在、市街化の進んだ都市域の中小河川では、流出実態に即した治水計画、洪水調節施設等の適正な管理、迅速・確実な水防活動等が必要である。そこで、狭い範囲での雨量の変動や分布の特性、それに伴う洪水流出特性の解明が望まれており、詳細な降雨の空間・時間分布を的確に把握することが必要不可欠である。

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上流域を対象に、東京都に高密度に配置された地上降雨観測ネットワークシステム（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分値雨量データを用い、30分累加雨量値が25mm以上となる豪雨イベントを抽出し、豪雨時における観測地点間の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、潮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¹⁾。なお、本システムによる雨量データは観測地点毎に1mm単位で降雨を記録している。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。本システムは、洪水時のデータの観測・収集・情報発信を目的としており、非洪水時に雨量計に水を注いで動作確認等を行っているため、1分値降雨量が10mm以上と記録される等、明らかな異常値が存在し、また、回線異常等の欠測を表すコードとしてマイナスの値も記録されている²⁾。

(2) 対象流域の概要

検証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³⁾。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9kmを対象流域として設定した。図-2は、図-1の黒四角の部分拡大しており、対象流域及びその周辺における水防災総合情報システムの雨量観測地点10地点を示している。図-2には対象流域のティーセン分割線も併記している。ティーセン分割による対象流域の1観測地点あたりの支配面積は、平均で1.3km²程度、最大でも3km²以下となり、観測地点は非常に高密度に配置されている。なお、図-2に示す「桜上水」観測地点は、2006年4月より観測を開始し、それ以前は桜上水の南東800mほどに位置する「経堂」観測地点で観測を行っていた。

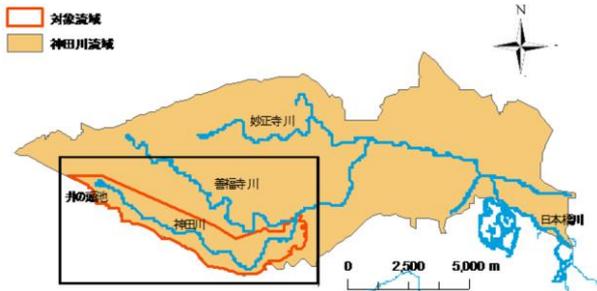


図-1 神田川及び対象とした神田川上流域



図-2 対象流域の地上雨量観測地点とティーセン分割

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 : tonotsuka-akihiro@ed.tmu.ac.jp

3. 豪雨イベントの抽出

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 分間に都賀川流域で強い降雨が発生し、河川水位が 10 分間で 1.34m も急上昇した。そのため、本研究での豪雨イベントの抽出に関しては、30 分累加雨量値を基に行った。対象観測地点に関しては、今回、神田川上流域の中心付近に位置し、水位観測も実施している池袋橋を対象として豪雨イベントを抽出した。抽出にあたっては、明らかな異常値及び欠測値は、近隣の観測地点（相生橋等）とデータを比較する等、時空間的な降雨分布を基に補正（ほとんどは 0 に補正）を行った。豪雨イベントとしては、池袋橋における 30 分累加雨量値が 25mm 以上の降雨として抽出し、その 30 分間を含む一連の降雨イベントを豪雨イベントとした。この場合、一降雨イベントとしては、6 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⁴⁾。表-1 に抽出した 32 豪雨イベント、30 分累加雨量の抽出開始時刻及び 30 分累加雨量、そして降雨継続時間及び総雨量を示す。

表-1 より、対象とした 16 年間で 30 分累加雨量値が最大となった豪雨イベントは、No.1 の 1999 年 7 月 21 日のイベントであり、30 分間に 64mm もの降雨をもたらした。また表-1 より、抽出された豪雨イベントの降雨継続時間は、20 分程度のもの（No.12 等）から 2000 分（1 日と 9 時間程）を越えるもの（No.2 等）など、イベントによって大きく異なっており、総雨量も 28mm（No.18）から 275mm（No.10）とイベントによって大きなばらつきがある。

図-3 には、30 分累加雨量値が最大となった豪雨イベント No.1 に対する全 10 観測地点のハイトグラフを示す。また、同図にティーセン法による流域平均ハイトグラフも併記している。なお池袋橋同様、他の観測地点においても異常値及び欠測値は補正している。図-3 より、本豪雨イベントでは、池袋橋から遠く離れた武蔵野で雨がほとんど降っておらず、また池袋橋より西側に位置する久我山や久我山橋よりも、東側に位置する相生橋や番屋橋の方で雨が強く観測されていることがわかる。

4. 豪雨イベント時の観測地点間の相関特性

図-4 に、抽出した豪雨イベントにおいて 30 分累加雨量値が大きい上位 3 イベントである（30 分累加雨量 45mm 以上）No.1, No.11, No.30 に対し、池袋橋での自己相関関数 $r_x(k)$ (k :遅れ時間) を $k=-30\sim 30$ 分の 1 分間隔値として示す。また、図-5～

表-1 抽出した豪雨イベント

豪雨イベント No.	30分累加雨量(池袋橋)			一降雨継続時間及び総雨量			
	豪雨抽出開始時刻	雨量 (mm)	順位	降雨開始時刻	降雨終了時刻	降雨継続時間 (min)	総雨量 (mm)
1	1999/07/21 16:03	64	1	1999/07/21 16:03	1999/07/21 19:33	211	71
2	1999/09/21 12:18	34	11	1999/09/21 12:10	1999/09/22 23:33	2124	94
3	2000/09/12 10:08	36	7	2000/09/12 09:47	2000/09/12 10:37	51	51
4	2001/07/18 21:14	33	12	2001/07/18 21:13	2001/07/18 22:23	71	35
5	2001/07/25 14:22	29	21	2001/07/25 13:56	2001/07/25 14:55	60	53
6	2002/08/02 15:36	31	15	2002/08/02 14:30	2002/08/02 18:15	226	47
7	2003/06/25 10:45	35	9	2003/06/24 14:10	2003/06/25 11:38	1289	60
8	2003/10/13 13:38	44	4	2003/10/13 13:22	2003/10/13 14:25	64	63
9	2004/09/30 02:27	31	15	2004/09/29 12:50	2004/09/30 03:21	872	73
10	2004/10/09 17:10	37	5	2004/10/08 12:38	2004/10/09 18:33	1796	275
11	2005/09/04 22:28	53	2	2005/09/04 19:59	2005/09/06 05:32	2014	206
12	2006/07/15 13:26	31	15	2006/07/15 13:26	2006/07/15 13:46	21	31
13	2006/08/12 13:53	26	26	2006/08/12 12:43	2006/08/12 15:38	176	30
14	2006/09/11 03:33	32	13	2006/09/11 03:33	2006/09/11 06:34	182	38
15	2007/06/10 12:08	26	26	2007/06/10 11:10	2007/06/10 12:50	101	35
16	2007/07/29 14:23	26	26	2007/07/29 14:05	2007/07/29 22:24	500	37
17	2007/08/28 20:03	27	24	2007/08/28 19:47	2007/08/28 20:40	54	39
18	2008/07/29 21:02	28	23	2008/07/29 21:02	2008/07/29 21:23	22	28
19	2008/08/05 12:25	30	19	2008/08/05 12:13	2008/08/05 16:36	264	50
20	2009/05/24 21:18	32	13	2009/05/24 21:14	2009/05/24 22:51	98	43
21	2009/06/16 20:16	26	26	2009/06/16 16:36	2009/06/16 23:02	387	41
22	2009/10/08 03:11	29	21	2009/10/06 19:00	2009/10/08 70:43	2204	156
23	2010/12/03 07:29	30	19	2010/12/03 01:32	2010/12/03 07:57	386	92
24	2011/08/26 15:21	27	24	2011/08/26 14:35	2011/08/26 21:04	390	59
25	2013/04/06 22:40	25	32	2013/04/06 15:22	2013/04/07 10:20	599	94
26	2013/06/25 12:17	31	15	2013/06/25 12:17	2013/06/25 13:51	95	48
27	2013/08/12 17:54	35	9	2013/08/12 17:54	2013/08/12 18:44	51	45
28	2013/09/05 07:48	26	26	2013/09/05 00:56	2013/09/05 09:42	527	58
29	2013/09/15 06:47	36	7	2013/09/15 03:58	2013/09/15 12:52	535	144
30	2014/06/24 14:50	45	3	2014/06/24 14:47	2014/06/24 16:58	132	57
31	2014/06/29 16:01	37	5	2014/06/29 16:01	2014/06/29 18:34	154	43
32	2014/07/24 18:41	26	26	2014/07/24 18:39	2014/07/24 20:29	111	65

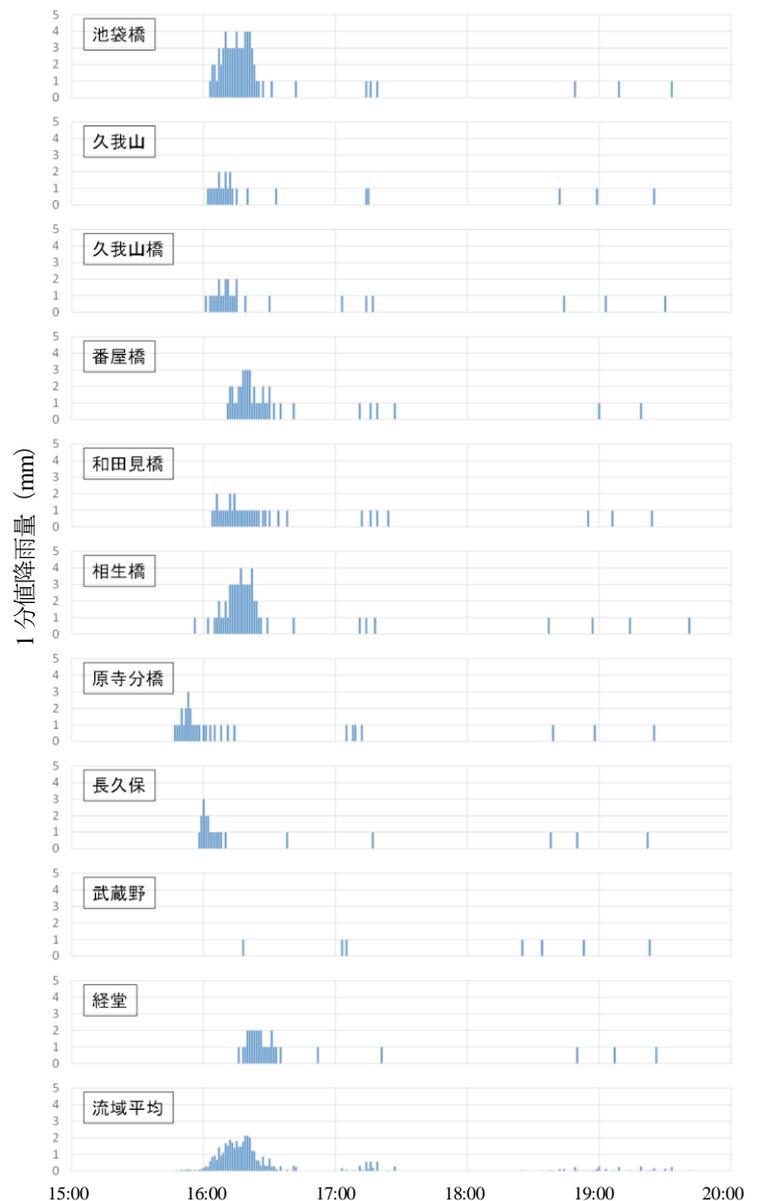


図-3 豪雨イベント No.1 のハイトグラフ

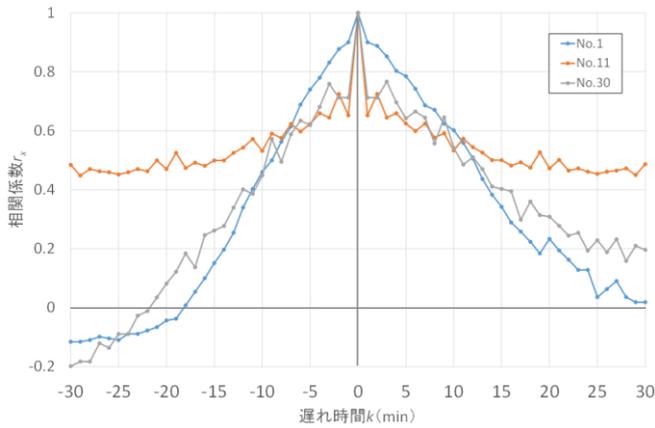


図-4 上位3イベントの自己相関関数 r_x

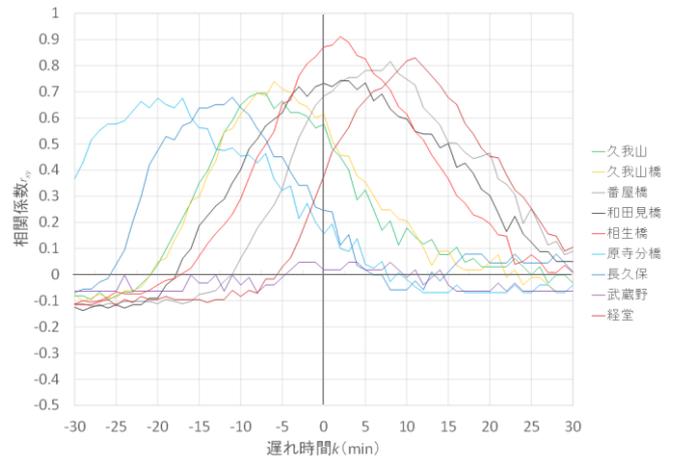


図-5 No.1の相互相関関数 r_{xy}

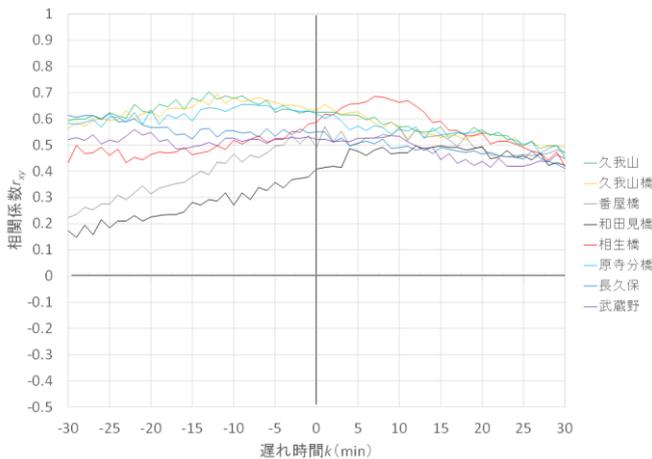


図-6 No.11の相互相関関数 r_{xy}

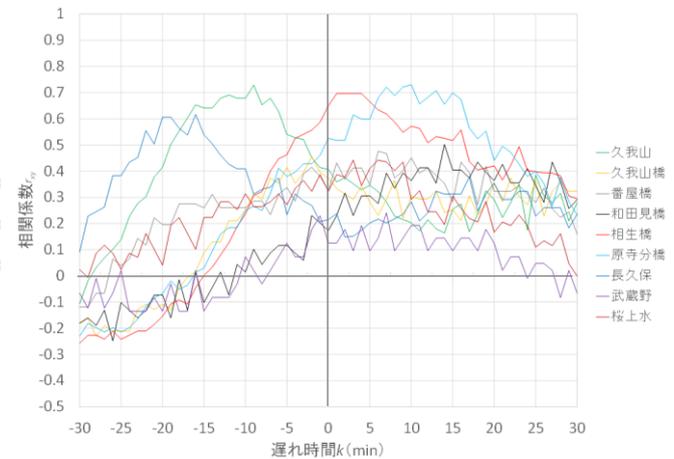


図-7 No.30の相互相関関数 r_{xy}

図-7に、30分累加雨量値が大きい上位3イベントに対する池袋橋と他9観測地点間の相互相関関数 $r_{xy}(k)$ (k :遅れ時間)を $k=-30\sim 30$ 分の1分間隔値として示す。図-4より、30分累加雨量値が最も大きい豪雨イベントNo.1では、 $k=-7\sim 10$ 分の範囲で $r_x=0.6$ 以上となり、 $k=-13\sim 18$ 分で $r_x=0.2$ 以上を保持し、そして $k=-18$ 及び $k=30$ 分程度で相関が0となっている。遅れ時間が正の方で相関を長く持続している理由としては、図-3に示すように豪雨は降雨開始時点で集中的に生起し、その後は降雨強度が弱まり無降雨の期間を伴いながら継続する傾向となるためである。3番目に30分累加雨量値が大きいイベントNo.30もNo.1とほぼ同様の傾向となっている。次に、2番目に30分累加雨量値が大きいイベントNo.11では、No.1と大きく傾向が異なり、遅れ時間が大きい場合でも常に $r_x=0.5$ 程度の相関を保持している。これはNo.11は、他豪雨イベントと比べ降雨継続時間が2014分と非常に長いためと考えられる。その他の豪雨イベントについても降雨継続時間が長くなると自己相関が保持される傾向が見られた。

図-5より、豪雨イベントNo.1においては、相生橋で $k=2$ 分で相互相関係数 $r_{xy}=0.91$ と最も高く、次いで経堂で $k=11$ 分で $r_{xy}=0.83$ 、番屋橋で $k=8$ 分で $r_{xy}=0.81$ の相関ピークとなっている。一方で、久我山橋では $k=6$ 分で $r_{xy}=0.74$ となり、また久我山、原寺分橋、長久保ではそれぞれ $k=-7$ 、 -20 及び -17 、 -11 分で相関のピークが現れている。これよりイベントNo.1の豪雨は、西から東の方向に雨域が移動したと推察される。なお、池袋橋から離れた武蔵野観測地点では、図-3のように雨がほとんど降っておらず、結果として相関はほとんどない。

次に図-6より、イベントNo.11(経堂のデータは全て欠測であった)においては、久我山、久我山橋では $k=-13$ 、 -12 分で $r_{xy}=0.7$ 程度のピークとなっている一方、相生橋でも $k=7$ 分で $r_{xy}=0.7$ 程度のピークとなっている。ただ、遅れ時間による相互相関係数の変動はイベントNo.1に比べかなり小さくなっている。これは他イベントに比べ降雨継続時間が長いためであると推察される。また図-7より、イベントNo.30においては、原寺分橋で $k=10$ 分で最大の相関係数($r_{xy}=0.73$)となっており、イベントNo.1及びNo.11では相関のピークが負の遅れ時間で生起しているのに対し、本豪雨イベントでは正の遅れ時間となっている。原寺分橋以外にも $r_{xy}=0.5$ 以上のピークを示した観測地点である長久保、久我山、相生橋、和田見橋でのピーク遅れ時間を考慮すると、本豪雨イベントの雨域は西から東へ移動し、その後北西の方向に移動した

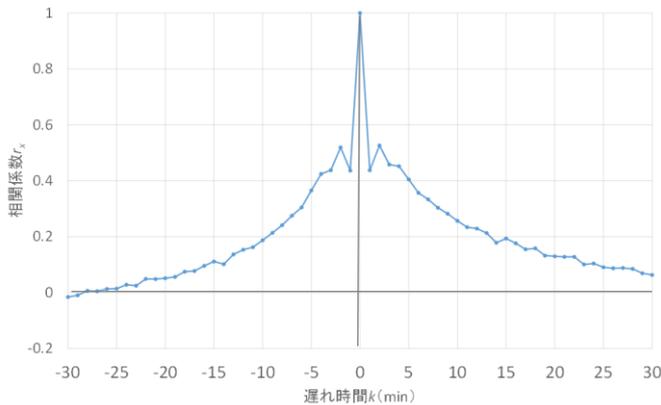


図-8 32 イベントの自己相関関数を平均したもの r_x

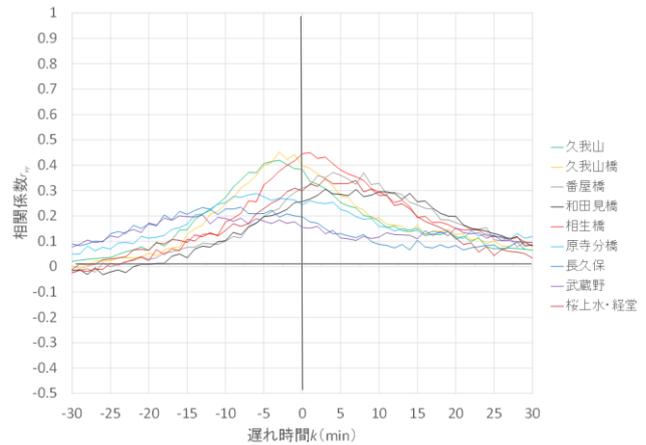


図-9 32 イベントの相互相関関数を平均したもの r_{xy}

と推察される。以上より、豪雨イベント毎に相関が最大となる観測地点や遅れ時間が大きく異なることや、降雨継続時間が長いイベントでは、観測地点毎の相関の変動が小さくなることがわかった。

次に図-8に、全32豪雨イベントの池袋橋地点における自己相関関数を平均したもの $r_x(k)$ (遅れ時間毎の相関係数の平均値)を示す。また図-9には、池袋橋地点と他9観測地点との相互相関関数を、全32豪雨イベントで平均したもの $r_{xy}(k)$ (遅れ時間毎の相関係数の平均値)を示す。なお、桜上水は経堂として組み込んでいる。図-8より、負の遅れ時間では、 $k=-25$ 程度で相関が0となるのに対し、正の遅れ時間では $k=30$ でも0となっておらず、自己相関関数が左右対称となっていない。これは前述したように、豪雨は降雨開始時点で集中的に生起し、その後は降雨強度が弱まり無降雨の期間を伴いながら継続する傾向となる特性があるためと考えられる。また、自己相関係数 r_x は $k=\pm 5$ 分程度までは $r_x=0.4$ 以上を、そして $k=9$, $k=13$ 分までは $r_x=0.2$ 以上を保持している。次いで、図-9より、相互相関係数 r_{xy} の最大値は、相生橋の $k=1$ 分及び久我山橋の $k=-3$ 分で生起しており、 $r_{xy}=0.45$ 程度である。そして久我山でも $k=-3$ 分で $r_{xy}=0.42$ となっている。このように、池袋橋に近い観測地点との相関が平均的に大きいことが確認できる。また全体的に相関のピークは、池袋橋より西に位置する観測地点から東に位置する観測地点へと順に生起しており、豪雨イベントの雨域は平均的に西から東へ移動することがわかる。

5. むすび

本研究では、東京都水防災総合情報システムの1分値雨量データを用い、神田川上流域の池袋橋における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、抽出した32豪雨イベントに対する池袋橋及び他9観測地点との観測地点間の相関特性について検討を行った。まず、抽出した豪雨イベントで30分累加雨量値が大きい上位3イベントに対する池袋橋の自己相関関数について解析した結果、降雨継続時間等の豪雨特性の影響により、イベント毎の自己相関関数は大きく異なっていた。次いで、30分累加雨量値が大きい上位3イベントに対する、池袋橋と他9観測地点との相互相関関数について解析した結果、豪雨イベント毎に相関が最大となる観測地点及び遅れ時間が大きく異なり、降雨継続時間が長い豪雨イベントでは遅れ時間による相関の変動が余り見られないことがわかった。次に、全32豪雨イベントに対する池袋橋の自己相関関数を平均し解析した結果、平均的に自己相関関数は正負の遅れ時間に対し左右対称でなく、遅れ時間が9~13分の範囲では相関係数0.2以上が保持されることを示した。また、全32豪雨イベントに対して、池袋橋と他9観測地点との相互相関関数を平均し解析した結果、池袋橋に近い観測地点の相関は平均的に大きくなることや、対象流域における豪雨イベントの雨域は平均的に西から東に移動していることを確認した。

本研究結果は、神田川上流域の1分値雨量データの欠測値等の補間に際し、参照可能な観測地点及びその遅れ時間として大いに参考になると考えられる。今回は、6時間以上の無降雨状態を伴わない一連の降雨として豪雨のイベントを抽出したが、豪雨イベントとしては30分間程度無降雨となった場合には別イベントとして扱う方が適切であることが示唆された。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 坊田裕美, 河村明, 天口英雄: 東京都水防災システム1分降水量データの補正および欠測値時空間特性, 第36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-38), 2008.
- 3) 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
- 4) 岡田博至, 田中岳: 洪水時における降雨時系列の特性に関する研究, 平成13年度土木学会北海道支部論文報告集, 第58号, pp.350-353, 2001.