

都市中小河川流域における豪雨時の 地上観測雨量とXバンドMPレーダ雨量の 空間的な時間相関特性

戸野塚 章宏¹・河村 明²・米勢 嘉智³・天口 英雄⁴

¹学生会員 首都大学東京 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

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

²正会員 首都大学東京教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail: kawamura@tmu.ac.jp

³正会員 (株)建設技術研究所 中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦1-5-13)

E-mail: yonese@ctie.co.jp

⁴正会員 首都大学東京助教 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail: amaguchi@tmu.ac.jp

本研究では、神田川上流域において、豪雨時における各地上雨量観測地点の1分値データとXバンドMPレーダ雨量の空間的な時間相関特性解析を実施した。台風や低気圧に起因する豪雨イベントでは、いずれの地上雨量観測地点においても雨域移動の影響を受け相関の高いエリアの時空間的な移動が確認でき、レーダ雨量は遅れ時間を-2分程度見込んだ上で直上メッシュの値を用いることで、地上雨量との高い相関性を確保できることを示した。一方、対流性の局所豪雨など豪雨の時空間分布が複雑な挙動を示す場合、相関係数の時空間分布を適切に把握するためには、豪雨ピークに起因する降水セルを考慮した詳細な時間区分を行う必要があり、また相関の高いメッシュは台風や低気圧に起因する豪雨の場合よりも遠方に存在する可能性があることを示した。

Key Words : 1-minute data, X-band MP radar, XRAIN, ground observation rainfall data, spatiotemporal correlation characteristic analysis, small urban watershed, Kanda river

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。特に首都圏においては、人口や生産基盤等の集中、都市化や気候変動等に起因した洪水流量の増大などの社会・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、短時間における集中豪雨により、河川の氾濫や内水による浸水被害の危険性が高いため、都市流出解析では詳細な1分値雨量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る河川水位の推定のためには、第一に詳細な降雨の空間・時間分布を的確に把握することが重要となる。

国土交通省が整備するXバンドMPレーダネットワーク(XRAIN)は、2010年からの試験運用期間を経て2014年3月に本格運用を開始し、詳細な降雨の時空間分布の情報が入手できる環境が整備されている。Xバンド

MPレーダ雨量(以下、レーダ雨量)による降雨観測特性や高精度な降雨量推定についての研究も進められてきており、レーダ雨量の精度向上が図られている^{3,4)}。また、レーダ雨量の精度に関しては、地上観測所雨量を用いて数百km²程度の比較的広域を対象とした研究^{5,6)}や二級河川の小流域を対象とした研究⁷⁾が実施されている。これらのレーダ雨量を用いた研究では、地上雨量の観測時間間隔との整合にも考慮して1分間隔の観測データを10分値などに換算したものを用いている。

著者らは、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として、流出解析に必要な地上面への到達雨量を把握するため、東京都に高密度に配置された1分値地上雨量観測データ(東京都水防災総合情報システム)によるレーダ雨量の精度評価を実施し、レーダ雨量の詳細な時間分解能に関する観測精度の有効性を確認する一方で、1分値によるレーダ雨量と地上雨量観測データには、観測時差があることを指摘した⁸⁾。さらに、1

地点の地上雨量データと観測地点周辺メッシュにおけるレーダ雨量を用いた時空間解析により、レーダ雨量と地上雨量の相関性は、必ずしも観測地点直上メッシュでなく周辺メッシュ範囲において高くなっており、その時空間的な相関性は雨域移動が主要因となっているとの指摘をしている⁹⁾¹⁰⁾。

しかしながら、降雨流出現象を把握するためには、流域全体における降雨状況を把握する必要があり、1地点のみならず流域内の複数観測地点における地上雨量とその観測地点周辺メッシュのレーダ雨量との観測時差およびその相関性についての定量評価が望まれるが、そのような研究事例はない。

そのため、本研究では、都市域の流出解析や河川水位推定に求められる詳細な時空間分解能を有するレーダ雨量の精度把握、精度確保を目的として、東京都の代表的な都市中小河川流域である神田川上流域における豪雨イベントを対象に、複数の地上雨量観測データ（東京都水防総合情報システム）とレーダ雨量の観測地点周辺メッシュの降雨データをもとに、豪雨時のレーダ雨量の空間的な時間相関特性解析を実施した。

2. 対象流域および対象豪雨イベント

本研究では、図-1に示す神田川の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。使用する地上雨量観測データは、東京都水防総合情報システムによる1分値データであり、図-2に示す流域内の5箇所（久我山、久我山橋、池袋橋、番屋橋、和田見橋）の地上雨量観測地点を対象とした。これらは観測地点ごとに1分間隔、最小単位1mmにて雨量データを計測している。

対象豪雨イベントは、2013年に対象流域において発生

した豪雨を対象として選定することとした。中小河川では、短時間の強降雨が河川水位を上昇させるため、対象降雨の累加期間は30分とし、対象観測地点の30分累加雨量値が25mm以上の降雨を抽出し、その降雨期間を含み、1時間以上の無降雨状態を伴わない一連の降雨を豪雨イベントとしてを設定した¹¹⁾。

表-1には、各対象観測地点において抽出した豪雨イベント、30分累加雨量の抽出開始時刻および30分累加雨量、降雨継続時間、総雨量、同一豪雨イベントNo.を示した。なお、抽出された観測地点は異なるが、同じ降雨期間を含む豪雨イベントは同一イベントとして同じ番号を設定している。また、豪雨イベント①において久我山で観測された場合には①-Kのように記載する。なお、久我山橋地点のみ抽出されている豪雨イベント⑥は、降雨継続時間が15分と非常に短く、局所的な突発的な豪雨である。対象流域は小流域であるが、このような局所的な豪雨では流域内で降雨状況が大きく異なることがわ

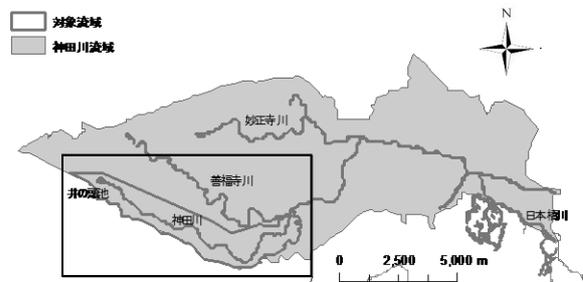


図-1 対象とした神田川上流域位置図



図-2 対象流域の地上雨量観測地点位置図

表-1 対象豪雨イベント

地点名	豪雨イベント順位	30分累加雨量		1降雨継続時間及び総雨量				降雨要因	豪雨イベントNo.
		抽出開始時刻	雨量(mm)	降雨開始時刻	降雨終了時刻	降雨継続時間(min)	総雨量(mm)		
久我山(K)	1	2013/06/25 12:27	39	2013/06/25 12:26	2013/06/25 14:22	117	53	大気状態不安定	①
	2	2013/09/15 06:49	29	2013/09/15 03:50	2013/09/15 12:27	518	143	台風18号	②
	3	2013/09/05 07:44	26	2013/09/05 07:22	2013/09/05 09:58	157	40	低気圧	④
	4	2013/08/12 18:05	26	2013/08/12 17:47	2013/08/12 19:04	78	40	大気状態不安定	③
久我山橋(Kb)	1	2013/09/05 07:44	32	2013/09/05 07:31	2013/09/05 10:21	171	46	低気圧	④
	2	2013/06/25 12:22	32	2013/06/25 12:22	2013/06/25 13:46	85	48	大気状態不安定	①
	3	2013/08/12 17:53	31	2013/08/12 17:53	2013/08/12 18:49	57	43	大気状態不安定	③
	4	2013/09/15 06:49	30	2013/09/15 03:54	2013/09/15 12:53	540	135	台風18号	②
	5	2013/07/23 15:45	25	2013/07/23 15:45	2013/07/23 15:59	15	25	大気状態不安定	⑥
池袋橋(I)	1	2013/09/15 06:47	36	2013/09/15 03:58	2013/09/15 12:52	535	144	台風18号	②
	2	2013/08/12 17:54	35	2013/08/12 17:54	2013/08/12 18:44	51	45	大気状態不安定	③
	3	2013/06/25 12:17	31	2013/06/25 12:17	2013/06/25 13:51	95	48	大気状態不安定	①
	4	2013/09/05 07:48	26	2013/09/05 07:41	2013/09/05 09:42	122	39	低気圧	④
	5	2013/04/06 22:40	25	2013/04/06 15:22	2013/04/07 01:20	599	94	低気圧	⑤
番屋橋(B)	1	2013/09/05 07:54	30	2013/09/05 07:46	2013/09/05 09:13	88	44	低気圧	④
	2	2013/09/15 08:23	29	2013/09/15 04:01	2013/09/15 11:39	459	112	台風18号	②
	3	2013/08/12 17:56	28	2013/08/12 17:55	2013/08/12 18:49	55	36	大気状態不安定	③
	4	2013/04/06 22:46	28	2013/04/06 15:51	2013/04/07 00:23	513	93	低気圧	⑤
和田見橋(W)	1	2013/09/15 08:26	32	2013/09/15 04:05	2013/09/15 11:50	466	128	台風18号	②
	2	2013/04/06 22:48	31	2013/04/06 16:00	2013/04/07 00:18	499	103	低気圧	⑤
	3	2013/08/12 18:04	25	2013/08/12 18:02	2013/08/12 19:04	63	33	大気状態不安定	③

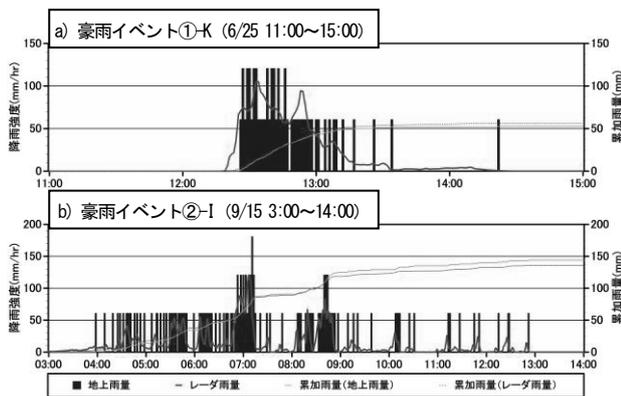


図-3 地上雨量とレーダ雨量のハイトグラフ比較図

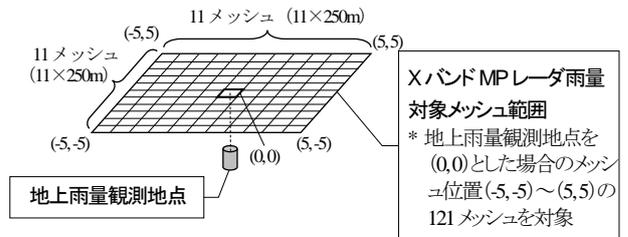
かる。

図-3には、豪雨イベント①-K、②-Iの地上雨量とレーダ雨量のハイトグラフおよび累加雨量を示した。これより、1分値地上雨量観測データは最小単位が1mmであり、かつ単位をmm/hrに換算しているため、レーダ雨量と比べて値の変動が大きくなっている。レーダ雨量の降雨波形は地上雨量において観測しているタイミングとほぼ同じかやや早い時間帯に観測しているが、累加雨量の時系列データを見てもわかるとおり、レーダ雨量および地上雨量データは概ね同様の降雨傾向を観測している。

3. 豪雨イベントにおけるレーダ雨量と地上雨量との空間的な時間相関特性

地上雨量観測地点における雨量データと観測地点周辺メッシュにおけるレーダ雨量を用いて、豪雨イベントの空間的な時間相関特性について検討する。図-4に示すとおり、地上観測地点とその周辺メッシュを対象として、(1)時間方向の地上観測地点を基準としたレーダ雨量の遅れ時間「-30分~30分(1分間隔)」と、(2)地上雨量観測地点周辺メッシュ(11×11メッシュ範囲)において、それぞれ組み合わせた場合ごとに相関係数を算出した。対象とするメッシュ範囲は、地上観測地点の直上メッシュを(0,0)として、その周辺メッシュ(-5,-5)~(5,5)の11×11メッシュ=121メッシュとした。レーダ雨量は250mメッシュの詳細な空間分解能を有しており、対象とするエリアは、11×11メッシュ=約2.75km×2.75km範囲となる。

図-5には、豪雨イベント②、③について、Kb(久我山橋)、I(池袋橋)、B(番屋橋)の観測地点周辺メッシュ(11×11メッシュ範囲)における相関係数の時空間分布を示す。なお、レーダで上空600mを観測し、観測した降雨が50mm/hr、雨滴直径2mm程度、落下速度は6.6m/sとして試算すると、地上までの落下時間は約2分程度となるため、ここでは降雨落下時間程度を見込んだ遅れ時間-3分~-1分について示した。図-5より、相関係数



- (1) 時間解析：遅れ時間-30分~+30分(1分間隔)を設定
- (2) 空間解析：観測地点周辺メッシュ(11×11メッシュ範囲)における地上雨量との相関係数の算定(1)の遅れ時間ごとに算定)

図-4 地上雨量とレーダ雨量の空間的な時間相関解析の概要

は時空間的に変化しており、図-5 a)の豪雨イベント②では、久我山橋地点、池袋橋地点、和田見橋地点ともに相関の高い同心円状のエリアが確認でき、これらが全体的に北上している。豪雨イベント②は台風起因する豪雨イベントであり、比較的広範囲の雨域が北方向に移動しながら豪雨を発生しているため、遅れ時間の増加に伴い相関の高いエリアも北上する傾向が明確にみとれる。一方、図-5 b)の豪雨イベント③では、相関の高いエリアの移動傾向は確認できず、ある特定エリア付近に留まっていることがわかる。

図-6、図-7には、それぞれ豪雨イベント②、③について、遅れ時間ごとの地上雨量と観測地点直上メッシュのレーダ雨量との相関係数と、地上雨量と観測地点周辺メッシュ(11×11メッシュ範囲)のレーダ雨量との最大相関係数を示す。図-6の台風起因する豪雨イベント②における相関係数図をみると、直上メッシュにおける地上雨量との相関係数を示した図-6 a)では、5地点ともに遅れ時間-3分~-1分の範囲で相関係数が最大となっていることがわかる。また、地上雨量と周辺メッシュにおける最大相関係数を示した図-6 b)をみると、5地点ともに直上メッシュで示した傾向とほぼ同様に、遅れ時間-3分~-1分の範囲で相関係数が最大となっている。すなわち、直上メッシュと周辺メッシュにおける相関係数が最大となる遅れ時間はほとんど同じ傾向を示し、かつ観測地点ごとの明確な差異もみうけられない。これに対して、図-7の大気状態不安定による豪雨イベント③は、直上メッシュにおける地上雨量との相関係数を示した図-7 a)では、5地点において遅れ時間-4分~+7分の範囲で相関係数が最大となっており、また、地上雨量と周辺メッシュにおける最大相関係数を示した図-7 b)をみると、5地点で遅れ時間-7分~0分の範囲で相関係数が最大となっている。これより、豪雨イベント③のような大気状態不安定による局所豪雨の場合には、相関係数が最大となる遅れ時間は直上メッシュと周辺メッシュで異なっており、また対象流域は小流域であるが、観測地点ごとに同様ではなく、ばらつきが大きいことがわかる。

a) 豪雨イベント② (2013/9/15)

遅れ時間-1分 ②-Kb

0.47	0.5	0.54	0.57	0.6	0.61	0.62	0.62	0.61	0.59	0.57
0.47	0.5	0.53	0.57	0.59	0.6	0.61	0.61	0.6	0.59	0.57
0.47	0.5	0.53	0.56	0.58	0.59	0.6	0.6	0.59	0.58	0.56
0.47	0.49	0.51	0.55	0.57	0.58	0.59	0.59	0.58	0.56	
0.46	0.49	0.5	0.54	0.56	0.57	0.58	0.58	0.57	0.56	
0.46	0.48	0.5	0.52	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57	0.56	0.56
0.44	0.46	0.48	0.51	0.54	0.55	0.56	0.56	0.56	0.55	0.55
0.43	0.44	0.46	0.49	0.53	0.54	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54
0.42	0.43	0.45	0.48	0.51	0.53	0.55	0.54	0.54	0.54	0.53
0.41	0.42	0.44	0.47	0.5	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52
0.4	0.41	0.43	0.46	0.49	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51

遅れ時間-1分 ②-I

0.53	0.57	0.62	0.65	0.68	0.69	0.7	0.69	0.68	0.67	0.65
0.52	0.57	0.62	0.65	0.68	0.69	0.69	0.69	0.67	0.66	0.64
0.53	0.57	0.61	0.64	0.67	0.69	0.69	0.69	0.67	0.65	0.63
0.53	0.57	0.61	0.64	0.67	0.68	0.68	0.68	0.66	0.64	0.62
0.53	0.57	0.61	0.64	0.66	0.67	0.68	0.68	0.66	0.63	0.62
0.52	0.56	0.6	0.63	0.65	0.66	0.67	0.67	0.65	0.62	0.61
0.51	0.55	0.59	0.61	0.64	0.65	0.66	0.66	0.64	0.61	0.6
0.51	0.55	0.58	0.6	0.63	0.64	0.65	0.65	0.63	0.61	0.59
0.52	0.53	0.57	0.59	0.62	0.63	0.64	0.63	0.62	0.6	0.58
0.52	0.54	0.56	0.59	0.61	0.61	0.63	0.62	0.61	0.59	0.57
0.53	0.54	0.56	0.58	0.6	0.61	0.61	0.61	0.6	0.58	0.57

遅れ時間-1分 ②-W

0.59	0.61	0.63	0.65	0.66	0.69	0.7	0.69	0.68	0.66	0.65
0.59	0.61	0.63	0.65	0.66	0.68	0.69	0.69	0.68	0.66	0.65
0.59	0.61	0.62	0.64	0.66	0.68	0.69	0.69	0.67	0.66	0.64
0.59	0.6	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64
0.59	0.6	0.61	0.63	0.64	0.67	0.68	0.68	0.66	0.66	0.64
0.59	0.6	0.61	0.62	0.64	0.66	0.67	0.67	0.66	0.65	0.63
0.58	0.59	0.6	0.61	0.63	0.65	0.66	0.66	0.65	0.64	0.62
0.57	0.58	0.59	0.6	0.62	0.64	0.65	0.65	0.64	0.63	0.62
0.56	0.58	0.58	0.59	0.61	0.62	0.63	0.64	0.62	0.62	0.6
0.55	0.56	0.57	0.57	0.6	0.61	0.62	0.62	0.61	0.61	0.6
0.54	0.55	0.55	0.55	0.58	0.6	0.6	0.61	0.6	0.6	0.59

遅れ時間-2分

0.45	0.48	0.52	0.56	0.59	0.61	0.62	0.62	0.61	0.6	0.58
0.45	0.48	0.52	0.57	0.6	0.61	0.63	0.63	0.62	0.6	0.58
0.46	0.48	0.52	0.57	0.6	0.61	0.63	0.63	0.62	0.61	0.59
0.45	0.49	0.52	0.56	0.59	0.61	0.63	0.63	0.62	0.61	0.59
0.44	0.48	0.51	0.56	0.58	0.61	0.63	0.64	0.63	0.61	0.59
0.44	0.47	0.5	0.55	0.57	0.6	0.62	0.63	0.63	0.61	0.59
0.43	0.46	0.49	0.54	0.57	0.6	0.61	0.62	0.62	0.61	0.59
0.42	0.45	0.48	0.52	0.56	0.59	0.6	0.61	0.61	0.6	0.58
0.42	0.44	0.47	0.51	0.55	0.57	0.59	0.6	0.6	0.59	0.58
0.41	0.43	0.46	0.5	0.54	0.56	0.57	0.58	0.58	0.58	0.57
0.41	0.42	0.46	0.49	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.56

遅れ時間-2分

0.55	0.59	0.63	0.65	0.68	0.69	0.7	0.7	0.69	0.68	0.67
0.55	0.6	0.64	0.66	0.68	0.69	0.7	0.7	0.69	0.67	0.66
0.56	0.6	0.64	0.66	0.69	0.7	0.71	0.7	0.68	0.67	0.65
0.56	0.6	0.64	0.66	0.69	0.7	0.71	0.7	0.68	0.66	0.64
0.56	0.6	0.64	0.67	0.69	0.7	0.71	0.7	0.68	0.66	0.64
0.56	0.6	0.63	0.66	0.69	0.7	0.71	0.7	0.68	0.66	0.64
0.55	0.59	0.63	0.65	0.68	0.7	0.7	0.7	0.68	0.65	0.64
0.55	0.59	0.62	0.64	0.67	0.69	0.69	0.69	0.68	0.65	0.63
0.55	0.57	0.61	0.63	0.66	0.67	0.68	0.68	0.67	0.64	0.62
0.55	0.57	0.6	0.62	0.64	0.66	0.67	0.67	0.66	0.64	0.62
0.55	0.57	0.59	0.61	0.62	0.65	0.66	0.66	0.65	0.63	0.61

遅れ時間-2分

0.56	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.67	0.66	0.65	0.64
0.57	0.59	0.6	0.62	0.63	0.65	0.67	0.68	0.67	0.65	0.64
0.58	0.59	0.61	0.62	0.64	0.66	0.68	0.68	0.67	0.66	0.65
0.58	0.6	0.61	0.63	0.64	0.67	0.68	0.68	0.69	0.68	0.67
0.59	0.6	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.69	0.69	0.68	0.66
0.59	0.6	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.7	0.69	0.68	0.66
0.59	0.6	0.61	0.62	0.65	0.67	0.7	0.7	0.69	0.68	0.66
0.58	0.6	0.61	0.63	0.65	0.68	0.7	0.7	0.69	0.68	0.66
0.58	0.6	0.61	0.62	0.64	0.67	0.69	0.7	0.68	0.67	0.65
0.58	0.6	0.61	0.62	0.64	0.66	0.68	0.68	0.67	0.66	0.65
0.58	0.6	0.6	0.61	0.63	0.65	0.66	0.67	0.67	0.65	0.64

遅れ時間-3分

0.46	0.48	0.5	0.53	0.54	0.56	0.57	0.57	0.57	0.58	0.56
0.47	0.48	0.5	0.54	0.56	0.57	0.58	0.59	0.59	0.59	0.57
0.47	0.48	0.51	0.55	0.57	0.58	0.59	0.6	0.6	0.6	0.58
0.47	0.49	0.52	0.55	0.57	0.6	0.61	0.61	0.61	0.61	0.58
0.47	0.5	0.52	0.56	0.58	0.6	0.62	0.63	0.62	0.61	0.59
0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.6	0.62	0.63	0.63	0.62	0.6
0.46	0.49	0.51	0.55	0.58	0.6	0.62	0.64	0.64	0.62	0.6
0.45	0.48	0.51	0.55	0.58	0.6	0.62	0.64	0.64	0.62	0.6
0.44	0.48	0.51	0.54	0.58	0.6	0.61	0.63	0.63	0.62	0.6
0.44	0.47	0.5	0.53	0.57	0.59	0.6	0.62	0.63	0.62	0.61
0.43	0.46	0.5	0.52	0.56	0.58	0.6	0.61	0.62	0.62	0.61

遅れ時間-3分

0.55	0.58	0.61	0.63	0.65	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.65
0.55	0.59	0.62	0.64	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66
0.57	0.6	0.62	0.65	0.67	0.68	0.68	0.69	0.68	0.68	0.66
0.57	0.6	0.63	0.65	0.67	0.68	0.69	0.7	0.69	0.68	0.67
0.57	0.6	0.63	0.66	0.68	0.69	0.7	0.7	0.7	0.68	0.67
0.57	0.6	0.64	0.66	0.68	0.7	0.71	0.71	0.7	0.69	0.67
0.56	0.6	0.63	0.65	0.68	0.7	0.71	0.71	0.7	0.69	0.67
0.57	0.61	0.64	0.65	0.68	0.69	0.7	0.7	0.7	0.69	0.67
0.57	0.6	0.63	0.65	0.67	0.69	0.7	0.7	0.7	0.69	0.66
0.58	0.6	0.63	0.65	0.68	0.68	0.7	0.7	0.7	0.68	0.66
0.59	0.61	0.63	0.64	0.65	0.68	0.69	0.69	0.69	0.68	0.66

遅れ時間-3分

0.53	0.53	0.54	0.55	0.56	0.58	0.6	0.61	0.61	0.61	0.61
0.54	0.54	0.55	0.56	0.57	0.59	0.61	0.62	0.63	0.63	0.62
0.55	0.55	0.56	0.58	0.58	0.6	0.62	0.63	0.64	0.64	0.63
0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.61	0.63	0.64	0.65	0.64	0.64
0.56	0.56	0.57	0.59	0.6	0.62	0.64	0.65	0.65	0.65	0.64
0.56	0.57	0.58	0.59	0.61	0.63	0.65	0.66	0.66	0.66	0.65
0.57	0.57	0.58	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.67	0.67	0.66
0.56	0.58	0.58	0.59	0.62	0.64	0.67	0.68	0.68	0.67	0.66
0.56	0.58	0.58	0.59	0.62	0.65	0.67	0.68	0.68	0.68	0.67
0.56	0.57	0.58	0.6	0.62	0.65	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67
0.56	0.58	0.58	0.6	0.63	0.65	0.68	0.69	0.69	0.68	0.67

b) 豪雨イベント③ (2013/8/12)

遅れ時間-1分 ③-Kb

0.51	0.52	0.54	0.56	0.62	0.63	0.61	0.58	0.54	0.5	0.42
0.48	0.49	0.5	0.56	0.62	0.65	0.65	0.62	0.58	0.52	0.47
0.47	0.46	0.48	0.54	0.6	0.66	0.66	0.63	0.64	0.56	0.49
0.45	0.45	0.47	0.52	0.57	0.64	0.66	0.66	0.64	0.6	0.52
0.45	0.44	0.45	0.51	0.56	0.62	0.66	0.67	0.64	0.6	0.5
0.42	0.42	0.43	0.5	0.55	0.59	0.64	0.66	0.64	0.59	0.53
0.39	0.39	0.4	0.48	0.55	0.57	0.61	0.63	0.62	0.55	0.5
0.36	0.36	0.38	0.44	0.52	0.55	0.59	0.6	0.59	0.54	0.45
0.32	0.33	0.35	0.41	0.49	0.53	0.57	0.57	0.55	0.52	0.45
0.28	0.28	0.31	0.37	0.43	0.49	0.54	0.54	0.53	0.49	0.43
0.2	0.24	0.27	0.33	0.39	0.43	0.49	0.51	0.5	0.47	0.4

遅れ時間-1分 ③-I

0.54	0.54	0.59	0.61	0.63	0.61	0.6	0.53	0.47	0.44	0.39
0.54	0.55	0.56	0.59	0.61	0.61	0.62	0.57	0.49	0.48	0.45
0.54	0.56	0.56	0.57	0.56	0.62	0.64	0.63	0.61	0.51	0.51

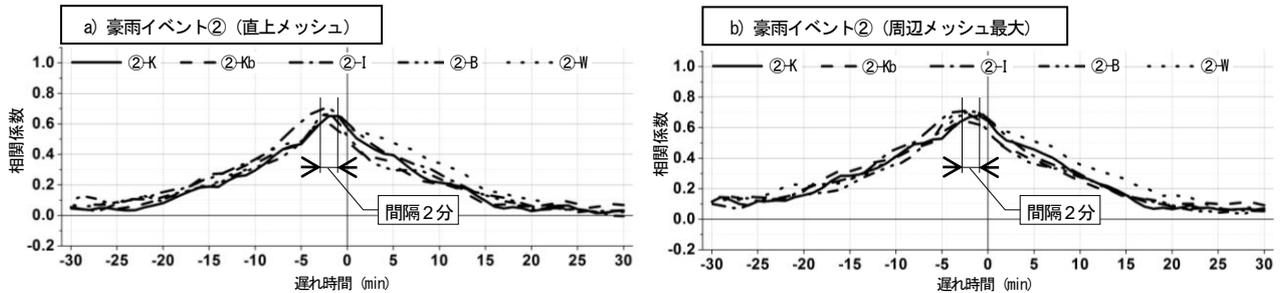


図-6 レーダ雨量と地上雨量との遅れ時間ごとの最大相関係数図 (豪雨イベント②)

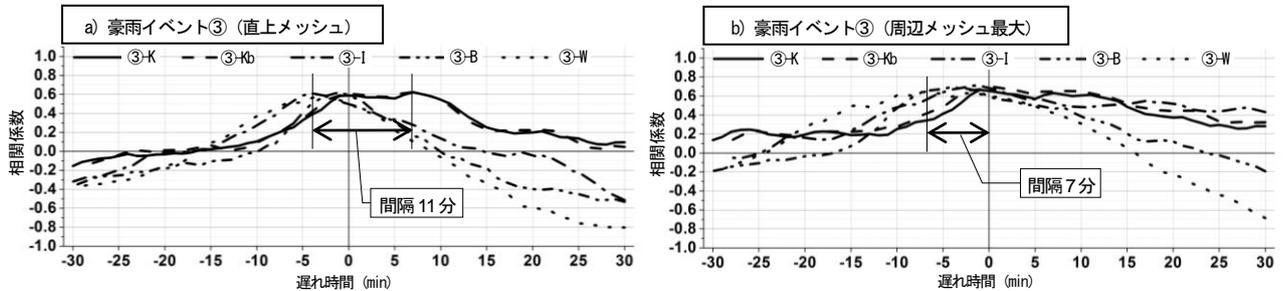


図-7 レーダ雨量と地上雨量との遅れ時間ごとの最大相関係数図 (豪雨イベント③)

表-2には、対象豪雨イベントの直上メッシュおよび周辺メッシュ範囲における最大相関係数とその遅れ時間、またそのメッシュ位置と直上メッシュからの距離、およびそれらの差分の絶対値を示す。併せて、観測地点直上メッシュおよび周辺メッシュで最大相関係数となるメッシュ位置の総雨量比 (レーダ総雨量/地上雨量総雨量) も示した。総雨量比は概ね2割程度の範囲内あり、総雨量比の1.0から2割程度の乖離は、既往研究³⁾においても認められる範囲内である。表-2をみると、台風・低気圧に起因する豪雨イベント②, ④, ⑤は、直上メッシュおよび周辺メッシュ範囲において、低気圧に起因する豪雨イベント⑤-Bを除き、遅れ時間が3分~-1分の範囲で相関が最大になっている。これより、台風や低気圧に起因する豪雨イベントでは、いずれの観測地点においても遅れ時間-2分程度で相関が高くなる。さらに、地上雨量と直上メッシュおよび周辺メッシュにおける最大相関係数の差分の絶対値 (表-2⑧) は最大でも豪雨イベント⑤-I

における0.061と小さいことから、台風・低気圧に起因する豪雨の場合は、観測地点によらず流域内全体として、遅れ時間を-2分程度見込むことで、直上メッシュの値を用いて、比較的高い相関係数を確保することが可能であると判断できる。

一方、大気状態不安定に起因する豪雨イベント①, ③, ⑥では、最大相関となる遅れ時間は-7分~+7分の範囲と幅があり、特に豪雨イベント③-K, ③-Kbでは直上メッシュにおける最大相関係数となる遅れ時間が+7分と大きく、かつ直上メッシュと周辺メッシュで最大相関係数となる遅れ時間の差分の絶対値 (表-2⑨) が7~8分と特に大きな差が確認された。上空で観測されるレーダ雨量と地上観測雨量との遅れ時間は、雨滴落下時間等を考慮した場合、負の値となるはずである。遅れ時間が0分以上となっているのは、2山等の複数のピークを有する降雨波形において、地上雨量の降雨波形のピークが、それよりも遅い時間におけるレーダ雨量のピーク波形との相関が偶然に高くなったことに起因すると推測される。

表-2 地上雨量と直上メッシュおよび周辺メッシュにおける最大相関係数とその遅れ時間、総雨量比および差分の絶対値

豪雨イベント名	直上メッシュ			周辺メッシュ(11×11メッシュ範囲)				差分の絶対値	
	最大相関係数 ①	遅れ時間 (min) ②	総雨量比 ③	最大相関係数 ④	遅れ時間 (min) ⑤	メッシュ位置 ⑥	総雨量比 ⑦	最大相関係数 ⑧= ④-①	遅れ時間 (min) ⑨= ⑤-②
①-K	0.810	-2	1.063	0.847	0	(-2, 3)	0.965	0.037	2
①-Kb	0.742	2	1.251	0.765	1	(2, 4)	1.051	0.022	1
①-I	0.571	0	1.348	0.757	-3	(3, 4)	1.033	0.186	3
②-K	0.652	-1	1.019	0.680	-1	(1, 4)	1.034	0.028	0
②-Kb	0.604	-3	1.088	0.638	-3	(3, -2)	1.046	0.034	0
②-I	0.703	-2	0.943	0.712	-3	(2, -1)	0.929	0.009	1
②-B	0.674	-2	1.068	0.688	-2	(1, 2)	1.068	0.014	0
②-W	0.671	-2	0.926	0.705	-2	(2, -2)	0.960	0.034	0
③-K	0.624	7	1.247	0.666	-1	(2, 2)	1.327	0.042	8
③-Kb	0.623	7	1.211	0.697	0	(0, 4)	1.252	0.074	7
③-I	0.609	-4	1.291	0.713	-1	(3, -1)	1.128	0.104	3
③-B	0.622	-1	1.137	0.695	-4	(2, -5)	1.142	0.073	3
③-W	0.587	-3	1.410	0.646	-7	(1, -5)	1.186	0.059	4
④-K	0.761	-2	1.087	0.790	-3	(-2, -5)	1.052	0.029	1
④-Kb	0.784	-2	0.952	0.839	-3	(1, -5)	0.881	0.055	1
④-I	0.773	-2	0.898	0.784	-2	(1, 0)	0.889	0.010	0
④-B	0.764	-2	0.928	0.800	-1	(2, 2)	0.993	0.037	1
⑤-I	0.440	-2	0.845	0.501	-2	(5, 1)	0.887	0.061	0
⑤-B	0.529	-6	0.993	0.550	-2	(4, 2)	1.000	0.021	4
⑤-W	0.573	-2	0.900	0.586	-1	(3, 4)	0.884	0.012	1
⑥-Kb	0.917	-2	1.074	0.950	0	(4, -4)	0.993	0.033	2

4. 局所豪雨におけるレーダ雨量と地上雨量の空間的な時間相関特性

前述した地上雨量と観測地点直上メッシュレーダ雨量との最大相関係数となる遅れ時間と、観測地点周辺メッシュの最大相関係数となる遅れ時間に特に大きな差が確認された豪雨イベント③について、降雨状況及び空間的な時間相関特性を分析した。

図-8に、豪雨イベント③久我山橋地点 (③-Kb) のハイトグラフを示す。この図より、③-Kbの降雨波形は1イベント期間中に17:55付近と18:10~18:20付近のピークが2つあることが確認できる。

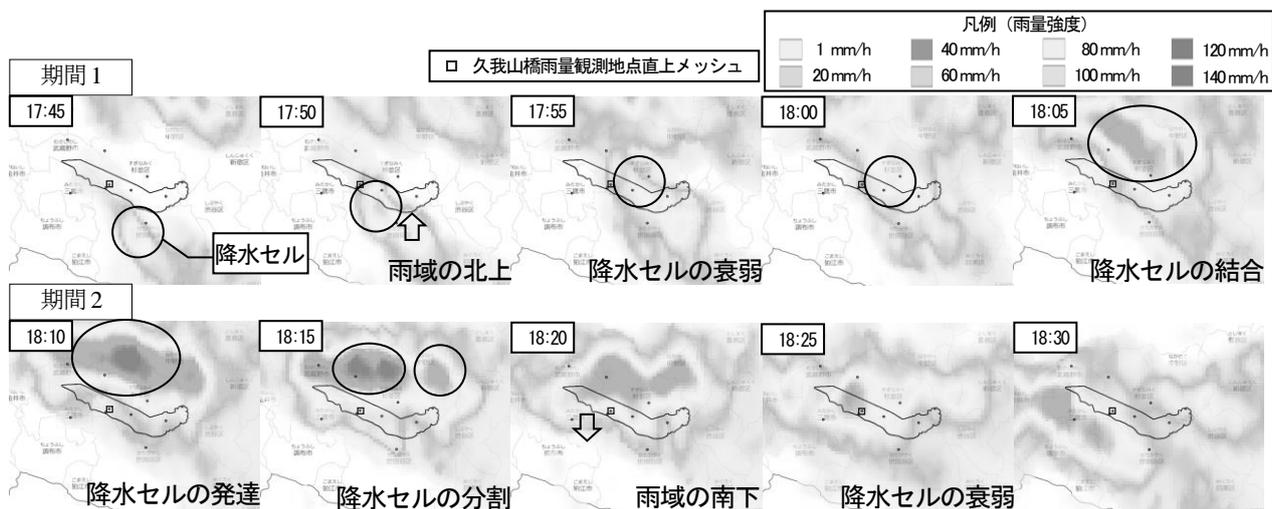


図-9 豪雨イベント③のレーダメッシュ雨量図

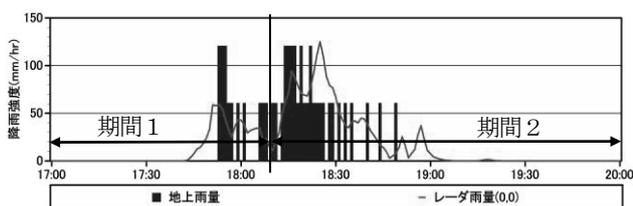


図-8 豪雨イベント③-Kb ハイエットグラフ (久我山橋地点)

図-9は、豪雨イベント③のピーク雨量時間帯におけるレーダメッシュ雨量図を示したものである。この図より、豪雨イベント③は、対象流域の南側にある降水セルが北上して流域を縦断した後、対象流域の北側で発生した降水セルと結合し、その後セルは発達、分裂を伴いながら対象流域を南下している。これより、豪雨イベント③-Kbは、1つの豪雨イベントにおいて2つの降水セルによって豪雨を発生させているため、降水セルが北上し他の降水セルと結合するまでの17:00～18:09を期間1、その後南下し雨域が対象流域を通過するまでの18:10～20:00を期間2として期間別に分離し、遅れ時間3分～1分(1分間隔)を設定して空間的な時間相関解析を実施した。なお、期間2に関しては、相関の高くなるエリアが11×11メッシュエリアの端部であったため、対象メッシュ範囲を北西側に拡張し、(-10, -5)～(5, 10)の16×16メッシュ範囲にて検討した。

表-3に豪雨イベント③-Kbの期間1と期間2に期間を分離した場合の遅れ時間ごとの直上メッシュにおける相関係数、周辺メッシュ範囲における最大相関係数とそのメッシュ位置および直上メッシュからの距離を示す。これより、期間1、期間2において、遅れ時間が2分の場合の周辺メッシュ範囲における相関係数(表-3③)はそれぞれ0.791、0.800と最大値となっている。分離する前の周辺メッシュ範囲における豪雨イベント③-Kbの最大相関係数は、表-2の③、④に示した遅れ時間0分で0.697であるため、最大相関係数は大幅に高くなるとともに、遅れ

表-3 期間別の地上雨量と直上メッシュの相関係数および周辺メッシュの最大相関係数とその遅れ時間(豪雨イベント③-Kb)

期間区分	直上メッシュ		周辺メッシュ範囲			
	相関係数 ①	遅れ時間 (min) ②	最大相関係数 ③	遅れ時間 (min) ④	メッシュ位置 ⑤	直上メッシュ からの距離 (m) ⑥
期間1	0.639	-1	0.699	-1	(-1, -1)	352.5
	0.741	-2	0.791	-2	(-1, -2)	557.5
	0.621	-3	0.780	-3	(0, -4)	1000.0
期間2	0.568	-1	0.788	-1	(-4, 7)	2015.0
	0.512	-2	0.800	-2	(-9, 9)	3182.5
	0.470	-3	0.798	-3	(-9, 9)	3182.5

時間も雨滴落下時間程度の値となっている。

また、期間2では図-9に示す通り期間1に比べより強い集中豪雨が発生しており、最大相関係数となる遅れ時間-2分における直上メッシュからメッシュ位置までの距離は約3.2kmとなっている。豪雨イベント①～⑥の相関の高いメッシュ位置は、表-2の⑥に示す通り1.5km範囲程度以内であったが、局所的な豪雨のピークに着目した場合、さらに遠方メッシュ位置に相関の高いメッシュが存在することがわかる。この理由としては、雨域移動や地上風、上昇気流などの影響により落下中の降雨が移流していることが考えられるが、今回の調査地点付近における風向・風速等の調査結果を得ることができなかったため、今後、これらとの関係を明確にしていくことが求められる。

5. むすび

本研究では、XバンドMPレーダ雨量について、神田川上流域の地上雨量観測地点の1分値データを用いて、各観測地点における豪雨イベントの空間的な時間相関特性解析を実施した。

台風や低気圧に起因する豪雨イベントでは、いずれの地上雨量観測地点においても雨域移動の影響を受け相関

の高いエリアが時空間的に移動している状況が確認でき、レーダ雨量は遅れ時間を-2分程度見込んだ上で直上メッシュの値を用いることで、地上雨量との高い相関性を確保することができることが確認された。

また、豪雨イベント③のような大気状態不安定による対流性の局所豪雨の場合は、豪雨の時空間分布は複雑な挙動を示す。このような局所豪雨においては、豪雨ピークに起因する降水セルを考慮した詳細な時間区分を行うことにより、複数の降雨ピークごとに変化する相関係数の時空間分布を把握できることを示した。また、特に局所的な集中豪雨の場合に、相関の高いメッシュがより遠方に存在する可能性があり、降雨によっては今回対象としたメッシュ範囲よりもさらに広範囲を対象として分析を行う必要があることを示した。

本研究で対象とした神田川は、洪水到達時間は短く、かつ流域幅が1km程度であり数メッシュの空間位置の差が流域の内・外を分けるため、降雨データの時空間的な精度を確保することは非常に重要となる。

今後、より多くの豪雨イベントを対象とするとともに、これらの時空間特性と今回検討した雨域移動に加え、地上風や上昇気流などの気象状況との関係性について明らかにしていく必要がある。さらに、豪雨の時空間分布が流域に及ぼす影響を、実際に流出解析を行うことで定量的に分析し、対象とする流域や河川に対して必要となる降雨データの空間分解能や時間分解能を明確にしておくことが求められる。また、そのためにはより観測単位の細かい地上雨量観測データによる検証も必要である。

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) 土屋修一, 川崎将生, 五道仁実: 降雨減衰補正と合成雨量作成手法の改良によるXRAIN観測雨量の精度向上, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.71, No.4, pp.I_457-I_462, 2015.
- 4) 土屋修一, 川崎将生, 深見和彦, 根本深, 内藤正彦, 五道仁実: 降雨・洪水予測技術の高度化に向けたレーダ雨量情報の高度化と活用の動向, 河川技術論文集 20巻, pp.343-348, 2014.
- 5) 林義晃, 手計太一, 山崎惟義: 北陸地方における地上雨量観測所を用いた X バンド MP レーダの降水量(降雪量) 推定精度の評価, 水文・水資源学会誌, Vol.27, No.2, Mar.2014, pp.67-76, 2014
- 6) 林義晃, 手計太一, 永島健, 山崎惟義: 北陸地方におけるXバンドMPレーダの降水量推定精度に関する時空間分布特性, 水文・水資源学会誌, Vol.28, No.5, Mar.2015, pp.221-232, 2015.
- 7) 原田守博, 羽澄貴史: XバンドMPレーダ情報に基づく局地的短時間豪雨の雨域性状の確率論的評価, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.70, No.4, pp.I_511-I_516, 2014.
- 8) 米勢嘉智, 河村明, 天口英雄, 戸野塚章宏: 1分値地上観測雨量データを用いた都市中小河川流域における X バンド MP レーダ雨量の精度評価, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No.4, I_217-I_222, 2016.
- 9) 米勢嘉智, 河村明, 天口英雄, 戸野塚章宏: 都市中小河川流域における X バンドMP レーダ雨量の時空間特性解析, 土木学会論文集 G(環境), Vol.72, No.5, pp.I_277-I_282, 2016.
- 10) 米勢嘉智, 河村明, 天口英雄, 戸野塚章宏: 雨域移動に着目した都市中小河川流域におけるXバンドMPレーダ雨量の時空間相関特性, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.73, No.4, pp.I_217-I_222, 2017.
- 11) 戸野塚章宏, 河村明, 米勢嘉智, 天口英雄: 都市中小河川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.

(2017.4.7 受付)

SPATIOTEMPORAL CORRELATION CHARACTERISTICS OF X-BAND MP
RADAR RAINFALL IN A SMALL URBAN WATERSHED FOCUSED ON
TORRENTIAL RAINFALL EVENTS AT EACH GROUND OBSERVATION POINT

Akihiro TONOTSUKA, Akira KAWAMURA, Yoshitomo YONESE
and Hideo AMAGUCHI

Torrential rainfall is one of the important hydrologic event having a direct impact on urban hydrology. It is important to have knowledge regarding the spatiotemporal patterns of torrential rainfall in order to prevent its adverse effects. Hence this study aims to present the spatiotemporal correlation characteristics of torrential rainfall events by the comparison of X-band MP radar data with 1-minute ground observation rainfall data in the upper basin of Kanda river in Tokyo. During typhoon, the meshed area of X-band MP radar data shows higher correlation with each ground observation rainfall data and this high correlation area having a spatiotemporal movement associated with the movement of the rainfall area. Even though the high correlation area having a spatio-temporal movement with the typhoon, the maximum correlation mesh is adjacently located with the overlapping mesh even in lag times of a few minutes. This can be attributed to the wide area coverage of typhoon and the small watershed under study. In cases of atmospheric instability, we can understand that the spatiotemporal correlation distribution is changing by every single rainfall peak by separating the duration of a multiple peak event by considering rainfall cell caused by torrential rainfall peak. The results shows the separation of multi peak rainfall event can cause the high correlation mesh area more widespread in case of particularly localized torrential rainfall. This can be interpreted as the effect of wind, upward air current, and the small area coverage of atmospheric instability.