

神田川上流域における X バンド MP レーダ雨量の時空間特性について

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

1. はじめに

近年、ゲリラ豪雨と呼ばれる局所的かつ短時間の集中豪雨により洪水被害が頻発している。都市域の中小河川では、短時間の集中豪雨による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 分値地上観測雨量や水位観測データを用いた流出解析が行われている¹⁾。そ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、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。レーダ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、X バンド MP レーダ雨量の精度向上が図られている²⁾。また、X バンド MP レーダ雨量の精度に関しては、地上観測雨量を用いた研究^{3),4)}が行われているが、これらの研究では地上観測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。

既往研究として、都市中小河川流域における 1 分値地上雨量観測データを用いた X バンド MP レーダ雨量の精度評価により、X バンド MP 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⁵⁾一方で、1 分値による X バンド MP レーダ雨量と地上観測雨量データには、観測時差があることが指摘されている。さらに、地上雨量と X バンド MP レーダ雨量の相関性は、必ずしも観測地点直上メッシュではなく、周辺メッシュ範囲において高いことが確認されている⁶⁾。しかし、上述した研究の多くは地上観測雨量と観測地点直上メッシュにおける X バンド MP レーダ雨量のハイトグラフをもとにした比較であり、複数の観測地点周辺メッシュデータを用いた豪雨を対象とした空間的な検討事例はほとんどない。

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 X バンド MP 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について、複数観測地点を対象とした 1 分値地上観測雨量データ (東京都水防総合情報システム) と観測地点周辺メッシュの X バンド MP レーダ雨量の時空間特性について検討した。

2. 対象流域および対象降雨

本研究では、図-1 に示す東京都内の中小河川である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。

使用する雨量データは、東京都水防災総合情報システムによる地上観測雨量データ (以下「地上雨量」という) である。図-2 に対象流域内の地上雨量観測地点を示す。小流域であるが流域内には 5 観測地点 (久我山、久我山橋、池袋橋、番屋橋、和田見橋) 配置されている。なお気象庁アメダス観測所は流域内に存在しない。これらの観測地点は 1 分間隔、最小単位 1mm で雨量データを計測している。本研究では、対象流域内において地上雨量と X バンド MP レーダ雨量をもとに広範囲に時空間的な精度確認を行うため、対象流域の上流域および下流域に位置し、水位観測も実施している 2 観測地点 (久我山橋、番屋橋) を対象とした。

対象降雨は、2013 年に対象流域において発生した豪雨を対象とし選定することとした。東京都は現在時間 50mm の降雨に対応する整備を行っており⁷⁾、また中小河川では、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

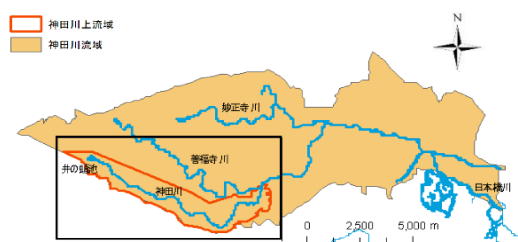


図-1 対象とした神田川上流域位置図



図-2 対象流域の地上雨量観測地点位置図

キーワード 1 分値地上観測雨量データ, X バンド MP レーダ雨量, XRAIN, 時空間特性, 神田川上流域

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

累加雨量値が 25mm 以上の降雨を抽出し、その降雨を含み、1 時間以上の無降雨状態を伴わない⁸⁾一連の降雨を降雨イベントとして設定した。表-1 には、対象観測地点ごとに抽出した降雨イベント、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、降雨要因を示す。なお、降雨イベント名は、久我山橋で抽出した 30 分累加雨量が最も大きいイベントは Kb-1 のように設定した。表-1 より、Kb-1 と B-1 のように観測地点が異なるが同じ降雨期間を含むものが 3 イベント存在する。また、図-3 に降雨イベント Kb-1、Kb-2 における地上雨量と X バンド MP レーダ雨量のハイトグラフを示す。これより、地上雨量は最小単位が 1mm/min であり、かつ単位を mm/hr に換算しているため、X バンド MP レーダ雨量と比べて値の変動が大きくなっているものの、降雨波形の相似性は確認できる。なお、図-3 a), b) はともに後半部に地上雨量で降雨強度 60mm/hr の観測値が見られるが X バンド MP レーダ雨量ではそのような観測はされていない。これは X バンド MP レーダ雨量では 5mm/hr 程度の弱い降雨が継続しており、この降雨により地上観測データの最小単位 1mm を観測したためであると考えられる。

3. X バンド MP レーダ雨量と地上雨量との時空間特性

(1) 時空間解析の概要

対象観測地点にて抽出した降雨イベントについて、地上雨量と地上観測地点直上およびその周辺メッシュにおける X バンド MP レーダ雨量を用いて、時空間的な相関特性について検討する。図-4 に示すとおり、地上観測地点直上とその周辺メッシュについて、①時間方向の遅れ時間「-30～+30 分（1 分間隔）」を設定し、②地上雨量観測地点周辺メッシュを対象として、それぞれを組み合わせて相互相関係数を算出した。対象とする周辺メッシュ範囲は、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。X バンド MP レーダ雨量は、250m メッシュの詳細な空間分解能を有しているため、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。

(2) 観測地点直上メッシュと周辺メッシュにおける時空間特性

図-5 に、地上雨量と観測地点周辺 121 メッシュ（11×11 メッシュ範囲）における X バンド MP レーダ雨量の相関係数の空間分布を、2 つの観測地点で抽出された同じ降雨期間を含む降雨イベント Kb-4 と B-2、Kb-3 と B-3 を示す。ここでは、周辺メッシュにおける相関係数のピークを含めた期間として遅れ時間「-4 分～0 分」を抽出し示した。図-5 a), b) では遅れ時間-3, -2 分の時に 0.638, 0.688 と相関係数が最大となっている。また、図-5 c), d) では遅れ時間 0, -4 分の時に 0.697, 0.695 で相関係数が最大となっており、最大相関係数となるメッシュ位置は時空間的に変化している。図-5 a), b) では、遅れ時間が増加するにしたがって最大相関係数となるメッシュ位置が北上している様子が確認できる。

また、遅れ時間ごとの相関の高いエリアは類似している傾向がうかがえる。これは図-5 a), b) は台風起因する降雨イベントであり、雨域の移動による影響を受け、相関の高いメッシュも移動しているためと推察される。一方で、図-5 c) d) は

表-1 選定した降雨イベント

地点名	降雨イベント名	30分累加雨量		1降雨継続時間および総雨量				降雨要因
		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)	
久我山橋	Kb-1	2013/09/05 07:44	32	2013/09/05 07:31	2013/09/05 10:21	171	46	低気圧
	Kb-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
	Kb-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
	Kb-4	2013/09/15 06:49	30	2013/09/15 03:54	2013/09/15 12:53	540	135	台風18号
	Kb-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
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
	B-2	2013/09/15 08:23	29	2013/09/15 04:01	2013/09/15 11:39	459	112	台風18号
	B-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
	B-4	2013/04/06 22:46	28	2013/04/06 15:51	2013/04/07 00:23	513	93	低気圧

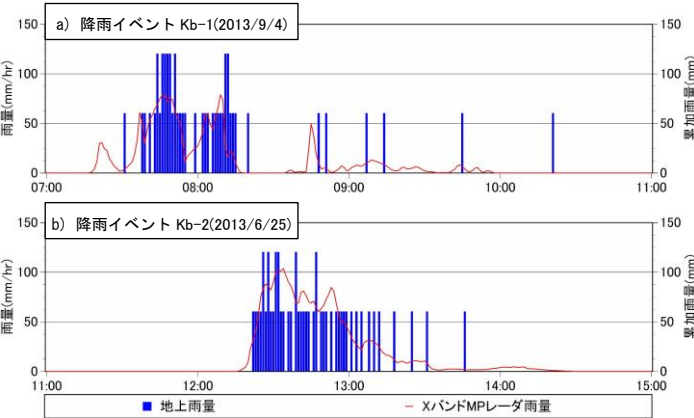


図-3 地上雨量と X バンド MP レーダ雨量のハイトグラフの比較

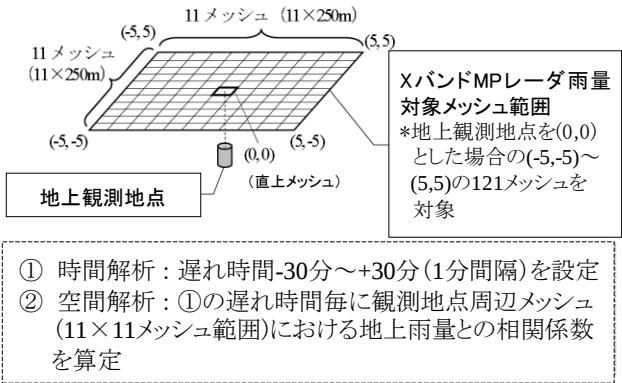


図-4 地上雨量と X バンド MP レーダ雨量の時空間解析の概要

大気状態不安定に起因する降雨イベントであるが、図-5 a) b)のように遅れ時間ごとに相関係数の高いエリアが移動するような明確な傾向は確認できない。

図-6 に、図-5 に示した降雨イベントについて、地上雨量と観測地点直上メッシュおよびその周辺メッシュにおける遅れ時間ごとの相関係数の最大値を、それぞれ実線と黒丸で示す。図-6 a), b)は、観測地点直上メッシュと周辺メッシュにおいて、どちらの場合も遅れ時間が-3分、-2分で相関係数が最大となっている。この負の遅れ時間は、レーダ観測高度から地上雨量計に到達するまでの雨滴落下時間が要因となり、XバンドMPレーダ雨量と地上雨量との間に観測時差が生じているためと考えられる。なお、雨滴落下時間については、XバンドMP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、約2分となる。そのため、上記した遅れ時間-3分、-2分は観測時差として概ね妥当であると考えられる。一方、図-6 c), d)は、観測地点直上メッシュでは遅れ時間がそれぞれ7分、-1分で最大相関係数となり、周辺メッシュでは遅れ時間が0分、-4分で最大相関係数となっていることから、観測地点直上メッシュと周辺メッシュの最大相関係数となる遅れ時間のばらつきがあることがわかる。また、周辺メッシュの相関係数をみると、図-6 a), b)と比較して、相関係数の最大値のピークが不明瞭となっている。これは、大気状態不安定に起因する豪雨による強風や上昇気流などの影響により、時空間的な誤差を生じていることと要因であると考えられる。

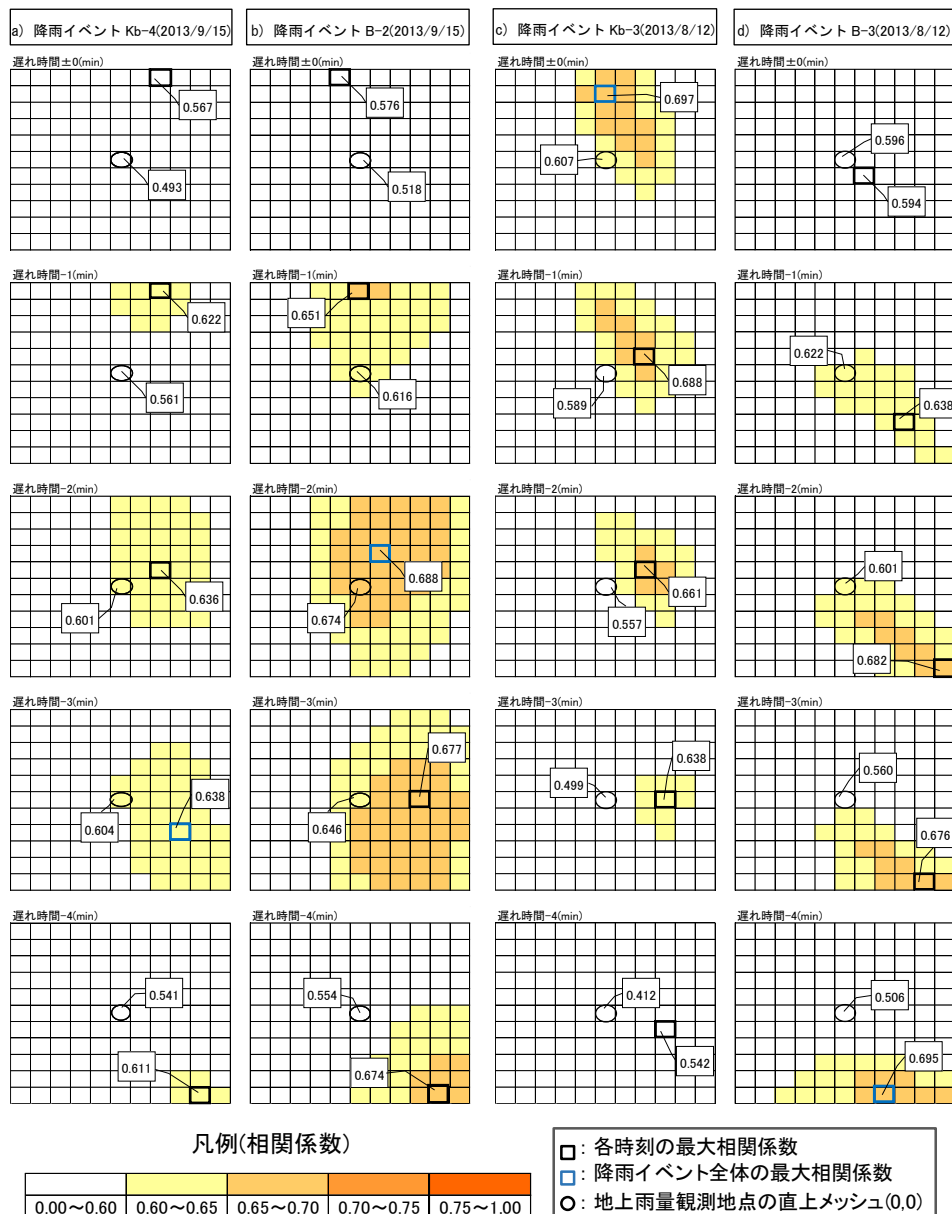


図-5 地上雨量と観測地点周辺メッシュにおけるXバンドMPレーダ雨量の相関係数の時空間分布

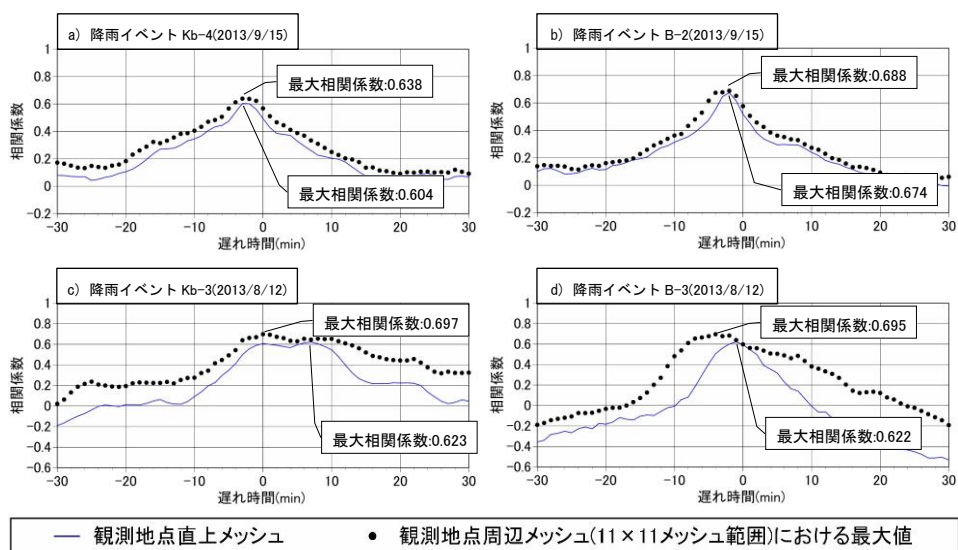


図-6 観測地点直上メッシュとその周辺メッシュにおけるXバンドMPレーダ雨量と地上雨量との最大相関係数

表-2 は、観測地点直上メッシュおよび観測地点周辺メッシュにおける X バンド MP レーダ雨量と地上雨量との最大相関係数とその遅れ時間、周辺メッシュと直上メッシュの最大相関係数となる遅れ時間の差分について、降雨イベント別に示したものである。表-2 より、台風・低気圧に起因する降雨イベント Kb-1, Kb-4, B-1, B-2, B-4 における周辺メッシュと直上メッシュの最大相関係数となる遅れ時間の差の平均値は 1.2 分であるのに対し、大気状態不安定に起因する降雨イベント Kb-2, Kb-3, Kb-5, B-3 の差の平均値は 3.25 分である。このことから、大気状態不安定に起因する降雨イベントは、台風・低気圧に起因する降雨イベントよりも、観測地点周辺メッシュと直上メッシュの相関係数が最大となる遅れ時間の差異が大きいことがわかる。

図-7 に、大気状態不安定に起因する降雨イベント Kb-3 における降雨の状況について示す。図-7 より、降雨イベント Kb-3 では流域全体に雨域は存在しているが、久我山橋付近では 120mm/hr 以上の強雨域となっているのに対し、番屋橋付近では 30mm/hr 以下となっており、空間分布に偏りが生じている。このような、局所的に強雨域が存在する降雨の場合、観測地点直上メッシュと周辺メッシュにおける相関特性が大きく異なる可能性があると考えられる。

以上より、X バンド MP レーダ雨量と地上雨量の比較を行う際には、観測時差などの時間的な差や、特に大気状態不安定に起因する降雨は、周辺メッシュ範囲の空間的な差について考慮する必要があることが示唆される。

4. 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2箇所の地上雨量観測地点の1分値地上観測雨量データをもとに時空間特性の検討を行った。台風・低気圧に起因する降雨では、観測地点直上メッシュと周辺メッシュで相関が最大となる遅れ時間は近い値を示すが、大気状態不安定に起因する局所的に強雨域が存在する降雨では、観測地点直上メッシュと周辺メッシュで相関が最大となる遅れ時間が乖離する傾向を示した。

今後、より多くの降雨イベントを対象とするとともに、流域内の他の地上観測地点を用いた検討も行うことで、降雨イベントの時空間特性を明確にしていく必要がある。また、これらの時空間特性と雨域の移動や風、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とともに、X バンド MP レーダ雨量の有する高精度データを十分な精度で活用するための手法を検討することが望まれる。さらに、降雨の時空間分布が流域に及ぼす影響を分析し、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観測雨量データによる検証も必要である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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, pp.I_217-I_222, 2016.
- 6) 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.
- 7) 東京都建設局河川部: 東京の河川事業, 2016.
- 8) 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.

表-2 観測地点直上メッシュおよび周辺メッシュにおける降雨イベント別の最大相関係数とその遅れ時間

地点名	降雨イベント名	観測地点直上メッシュ		観測地点周辺121メッシュ		メッシュ位置	周辺メッシュと直上メッシュの遅れ時間の差分(min)
		最大相関係数	遅れ時間 (min)	最大相関係数	遅れ時間 (min)		
久我山橋	Kb-1	0.784	-2	0.839	-3	(1, -5)	1
	Kb-2	0.742	2	0.765	1	(2, 4)	1
	Kb-3	0.623	7	0.697	0	(0, 4)	7
	Kb-4	0.604	-3	0.638	-3	(3, -2)	0
	Kb-5	0.917	-2	0.950	0	(4, -4)	2
番屋橋	B-1	0.764	-2	0.800	-1	(2, 2)	1
	B-2	0.674	-2	0.688	-2	(1, 2)	0
	B-3	0.622	-1	0.695	-4	(2, -5)	3
	B-4	0.529	-6	0.550	-2	(4, 2)	4

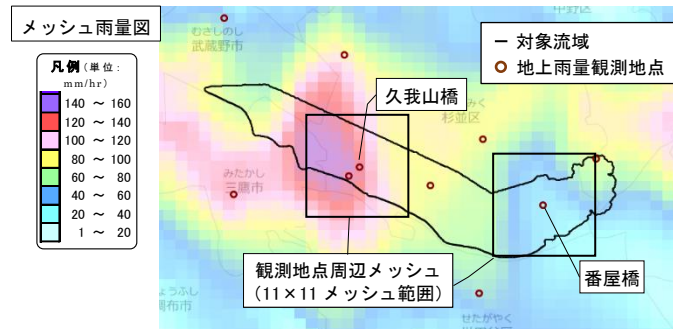


図-7 X バンド MP レーダ雨量状況 (降雨イベント Kb-3 8/12 18:25 時点)