

平成 27 年 9 月関東・東北豪雨におけるメソスケール対流系の特徴 および常総市の浸水深調査の結果について

三隅良平*・清水慎吾*・栢原孝浩*・若月 強*
平野洪賓*・酒井将也*・池永隆博*・罇 優子**

Characteristics of Mesoscale Convective Systems during Kanto Tohoku Heavy Rainfall in September 2015 and Field Investigation of Inundation Depth Conducted in Joso City

Ryohei MISUMI*, Shingo SHIMIZU*, Takahiro KAYAHARA*, Tsuyoshi WAKATSUKI*,
Kohin HIRANO*, Masaya SAKAI*, Takahiro IKENAGA*, and Yuko MOTAI**

* Storm, Flood and Landslide Research Division,

** Public Relations Division,

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan

misumi@bosai.go.jp, shimizus@bosai.go.jp, kayahara@bosai.go.jp, waka@bosai.go.jp,

hirano@bosai.go.jp, motai@bosai.go.jp

Abstract

In general, heavy rainfall is produced by mesoscale (2–2,000 km in horizontal scale) convective systems (MCSs). We analyzed the statistical features of the MCSs that brought Kanto Tohoku heavy rainfall in September 2015 using the data of XRAIN (eXtended RAdar Information Network), operated by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Tourism. As a result, it was found that 3,149 MCSs appeared in the study area and had a mean area and lifetime of 138.0 km² and 13.0 minutes, respectively. The statistical features of the MCSs were slightly different after they had formed a band-shaped rainfall area having a width of about 100 - 200 km. The results of a field investigation of inundation depth conducted for Joso City, 19 September 2015, are also shown.

Key words: Heavy rainfall, Mesoscale convective system, Inundation depth

1. はじめに

2015 年台風第 18 号は、9 月 9 日 10 時過ぎに愛知県知多半島に上陸した後、日本海に進んで 21 時過ぎに温帯低気圧に変わった。その影響で西日本から北日本にかけての広い範囲で記録的な大雨になり、死者 8 名、重傷者 8 名、全壊家屋 80 棟、半壊家屋 7,022 棟の甚大な被害が発生した(内閣府, 2016)。一連の豪雨は気象庁により「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」と命名された。表 1 に全国の被害状況を示す。

と命名された。表 1 に全国の被害状況を示す。

内閣府(2016)によると、死者が発生した状況は以下の通りである。

- 宮城県栗原市において、軽自動車が流され、乗っていた 40 歳代女性が救出されたが、搬送先の病院で死亡を確認(9 月 11 日)。
- 宮城県栗原市において、60 歳代男性が行方不明となり、検索活動を実施していたところ、熊川

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

** 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 広報課

で発見され死亡を確認(9月12日)。

- 茨城県常総市において、50歳代男性が水田の中で倒れているのを通行人が発見、現場にて死亡を確認(9月13日)。
- 茨城県常総市において、水が引いた浸水地域から70歳代男性が発見され、現場にて死亡を確認(9月13日)。
- 茨城県境町において、40歳代男性が9月10日に自転車で自宅を出たまま行方不明となり、検索活動を実施していたところ、発見され現場で

死亡を確認(9月16日)。

- 栃木県鹿沼市において、住宅に土砂が流入し、巻き込まれ行方不明となっていた60歳代女性が発見され、搬送先の病院にて死亡を確認(9月10日)。
- 栃木県日光市において、20歳代男性が作業中に排水溝に転落し、心肺停止状態になり、救出後収容先の病院で死亡を確認(9月11日)。
- 栃木県栃木市において、60歳代男性が水没した車から発見され、現場にて死亡を確認(9月13日)。

表1 人的・物的被害の状況(内閣府, 2016:平成28年2月19日10:00現在)
Table 1 Damages caused by the heavy rainfall (summarized at 10:00 JST on 19 February 2016).

都道府県	人的被害					住家被害					非住家被害		
	死者	行方不明者	負傷者			全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	合計	公共建物	その他
			重傷	軽傷	程度不明								
	人	人	人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟	棟	棟	
岩手県									2	2			
宮城県	2		1	2	2	572	298	138	727	1,737		2	
秋田県								3	1	4			
山形県			1					13	17	30			
福島県					2		6	43	163	214			
茨城県	3		3	51	54	5,486		185	3,767	9,492			
栃木県	3		1	5	22	964	29	1,102	3,934	6,051		153	
群馬県									9	9			
埼玉県				3				2	374	1,482	1,858		
千葉県								1	33	143			
東京都				1						0			
神奈川県								1	2	4			
富山県				1						0			
石川県				1						0			
長野県										0		1	
岐阜県								2		2			
静岡県			1	4				1	20	97			
愛知県			1	3					5	5		2	
三重県									15	74			
鳥取県				1						0			
香川県									1	1			
合計	8		8	72	80	7,022	343	1,925	10,353	19,723		158	

平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の被害の実態については、すでにいくつかの報告書が刊行されている。気象庁 (2015b) は、豪雨発生時の気象状況や気象庁の対応状況を報告した。気象研究所 (2015) は、この豪雨が台風第 18 号の東側に存在していたアウトバンド (外側降雨帯) に伴う降雨域が、関東地方に移動した後に幅 100 ~ 200 km の降雨帯に変化したことなどを指摘した。P.C. *et al.* (2016) は、この豪雨を対象として、気象庁全国合成レーダーエコー強度と国土交通省 XRAIN (eXtended RAdar Information Network) との比較を行っている。また鬼怒川の破堤に伴う常総市の被害については、山本ほか (2015)、佐山・寶 (2016)、芳村ほか (2016) が被害状況や浸水深調査の結果を報告し、土屋 (2016) が鬼怒川の破堤の要因を考察している。さらに日光市における土石流については落合ほか (2016) が、宮城県大崎市を流れる渋井川の氾濫については呉ほか (2016) が報告している。

一般に、豪雨はメソスケール (水平スケール 2 ~ 2,000 km) 対流系 (Mesoscale Convective System; MCS) によってもたらされる。平成 27 年 9 月関東・東北豪雨においても、メソ β スケール (20 ~ 200 km) の線状 MCS が繰り返し発生したことが指摘されている (気象研究所, 2015)。しかし、どのような大きさの MCS がどのような頻度で出現したのかは明確にされていない。豪雨を解析する上で、発生した MCS の出現特性や個数、水平スケール等は基本的な情報となる。本研究では、国土交通省 XRAIN のデータを、対流セル自動検出・追跡アルゴリズム AITCC (Algorithm for Identification and Tracking Convective Cell; Shimizu and Uyeda, 2012) を用いて解析し、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨において出現した MCS の特徴を記述する。

さらに、研究者の利用に供するため、防災科学技術研究所が 2015 年 9 月 19 日に常総市で実施した計 80 箇所での浸水深の測定結果を公表する。なお本報告では用いる時刻は日本時間である。

2. データと解析方法

2.1 使用したデータ

使用したレーダーデータは、国土交通省が運用している XRAIN の一部である「X バンド MP レーダー雨量データ (関東)」 (以後、「XRAIN 関東」という)

で、**図 1** に示す領域において 250 m メッシュ、1 分間隔の降雨強度が得られている。解析においては、メソスケール以下の細かな降水変動の影響を取り除くため、データを 1 km メッシュに内挿するとともに、処理速度を上げるため、2 分間隔でデータを使用した。また雨量の時系列には気象庁アメダス (AMeDAS: Automated Meteorological Data Acquisition System) を、総雨量の分布には国土交通省解析雨量を用いた。浸水深を測定した地点の標高には、「国土地理院・基盤地図情報 (数値標高モデル) 5 m メッシュ (標高)」を利用した。

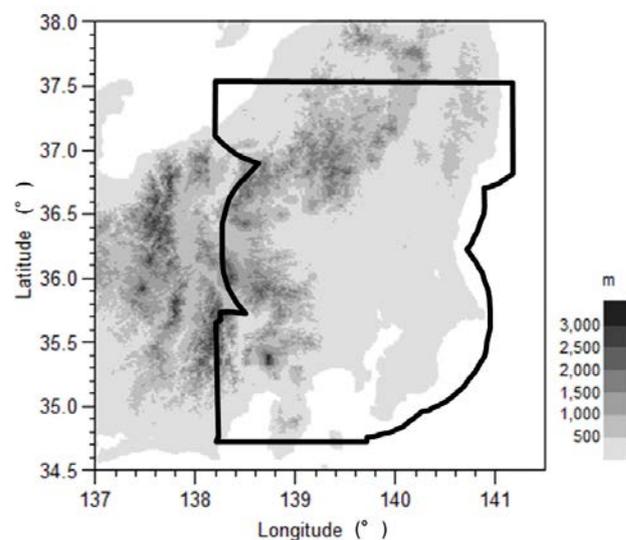


図 1 XRAIN 関東がカバーする範囲 (実線)。背景は標高を表す。

Fig. 1 The area covered with XRAIN Kanto (solid line). Shadings indicate topographic elevations.

2.2 解析方法

MCS の解析には、対流セル自動検出・追跡アルゴリズム AITCC (Shimizu and Uyeda, 2012) を用いた。AITCC は、一定の閾値を超えるレーダ反射強度の輪郭で定義された「MCS」と、レーダ反射強度のピークで定義された「対流セル」の両方を検出・追跡する機能をもつが、本研究では MCS のみに注目した。

AITCC による MCS 検出の手順は以下の通りである。①レーダ反射強度から、Steiner *et al.* (1995) の方法に基づいて「層状性エコー」と判定された領域を取り除く。②一定の閾値よりも大きなレーダ反射強度をもつエコーで囲まれた領域を MCS と判断する。

AITCC はレーダ反射強度を解析するので、使用したデータの降雨強度 (R ; mm h^{-1}) を、広く用いら

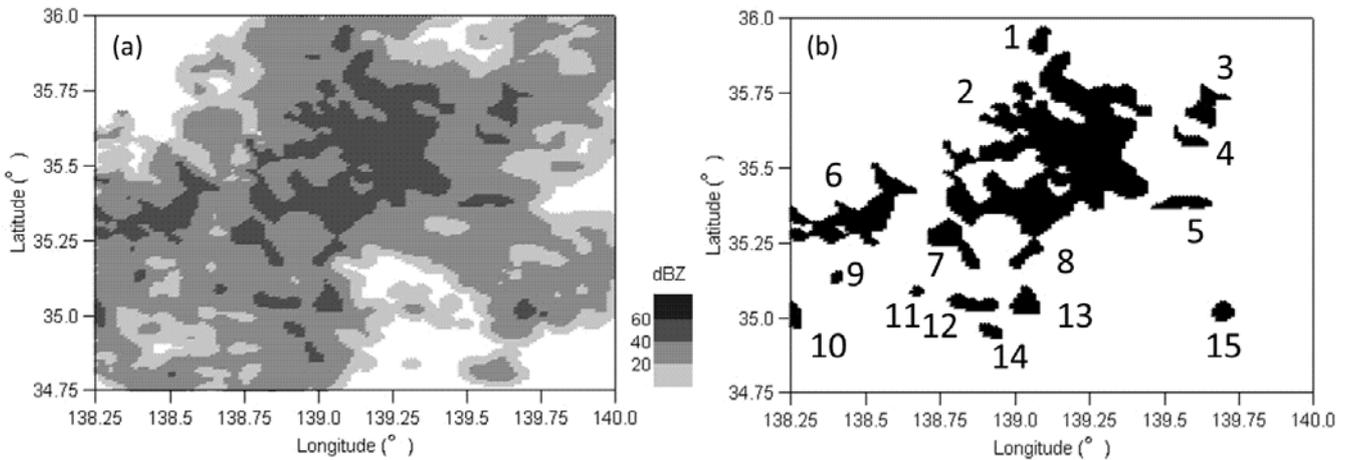


図2 (a) レーダ反射強度の分布(2015年9月9日9:00). (b) AITCCによって検出されたMCS.
 Fig. 2 (a) Distribution of radar reflectivity (9:00 JST on 9 September 2016). (b) MCS detected by AITCC.

れている $Z=200R^{1.6}$ の関係式を用いてレーダ反射強度 (Z ; $\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$) に変換して使用した. また 40 dBZ (11.6 mm h^{-1}) を MCS の輪郭の閾値とした. 図2にAITCCによるMCS検出の例を示す. この例では15個のMCSが検出されている.

各時刻において検出されたMCSは, 以下の方法で追跡される. ①連続した2つの時刻のMCSの分布図から, 相関係数が最大となるように移動ベクトルを決める. ②MCSのオーバーラップが最大となるように, 各MCSの移動ベクトルを修正する. ③面積や移動ベクトルなどの類似性を考慮した優先度関数を用いて, 重なったMCSが同一のものかどうかを判断する. なお, 直後の時刻において同一のMCSが見つからない場合には「MCSの消滅」, 直前の時刻において同一のMCSがない場合には「MCSの発生」と判断する.

3. 解析結果

3.1 気象状況

AITCCを用いた解析結果を述べる前に, 豪雨発生時の気象状況について簡単に述べる. 図3は2015年9月8日~11日の地上天気図を示す. 9月9日から10日にかけて, 台風第18号が東海地方に上陸し, 日本海に移動した. 上陸時の台風第18号の中心気圧は990 hPa, 最大風速 23 m s^{-1} であり, すでに暴風域(風速 25 ms^{-1} 以上の範囲)はなかった. しかし台風第18号の外側降雨帯に, 台風第17号に伴う湿った南東風が吹き込む位置関係になり, 9月9日から11日にかけて, 関東地方から東北南部において激しい雨が観測された.

図4は国土交通省解析雨量に基づく, 9月9日0時から11日12時までの総雨量分布を示している. 北関東の山岳域では500 mmを超える雨量が解析され, 東北地方南部の太平洋側では300 mmを超える雨量が解析された. この期間の総雨量は, アメダス今市(栃木県今市市)で599.5 mm, アメダス下妻(茨城県下妻市)で197 mm, アメダス古川(宮城県大崎市)で195.5 mmであった(図5).

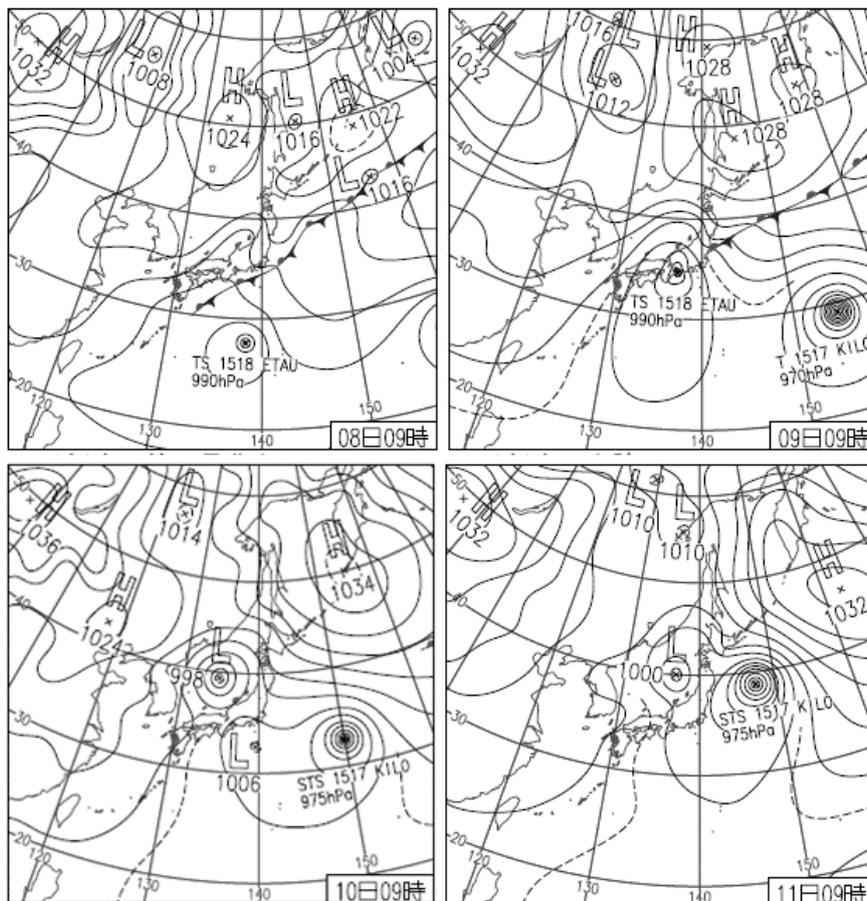


図 3 2015 年 9 月 8 日から 9 月 11 日までの地上天気図(気象庁, 2015)
 Fig. 3 Surface weather charts from 8 to 11 September 2015 (Japan Meteorological Agency).

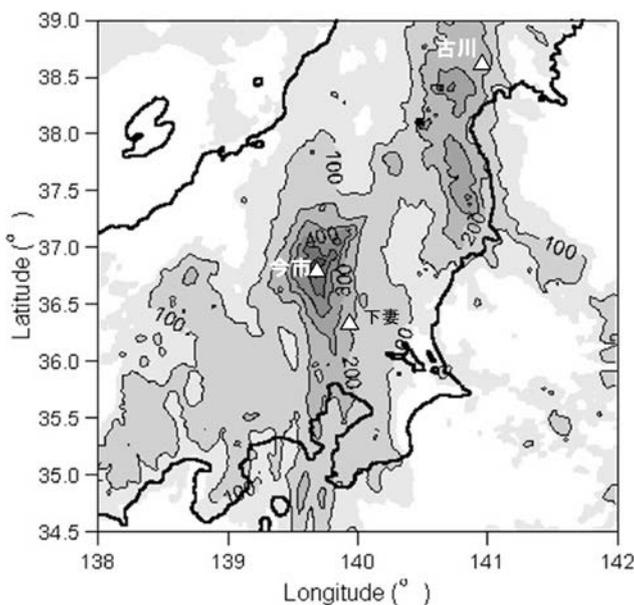


図 4 解析雨量に基づく, 2015 年 9 月 9 日 0 時から 11 日 12 時までの総雨量(mm).
 三角マークはアメダス古川, 下妻, 今市の位置を表す.
 Fig. 4 Total rainfall (mm) from 0 JST on 9 to 12 JST on 11 September 2015 derived
 from Radar/Rain gauge-Analyzed Precipitation data. Triangles indicate the
 locations of AMeDAS at Furukawa, Imaichi and Shimotsuma.

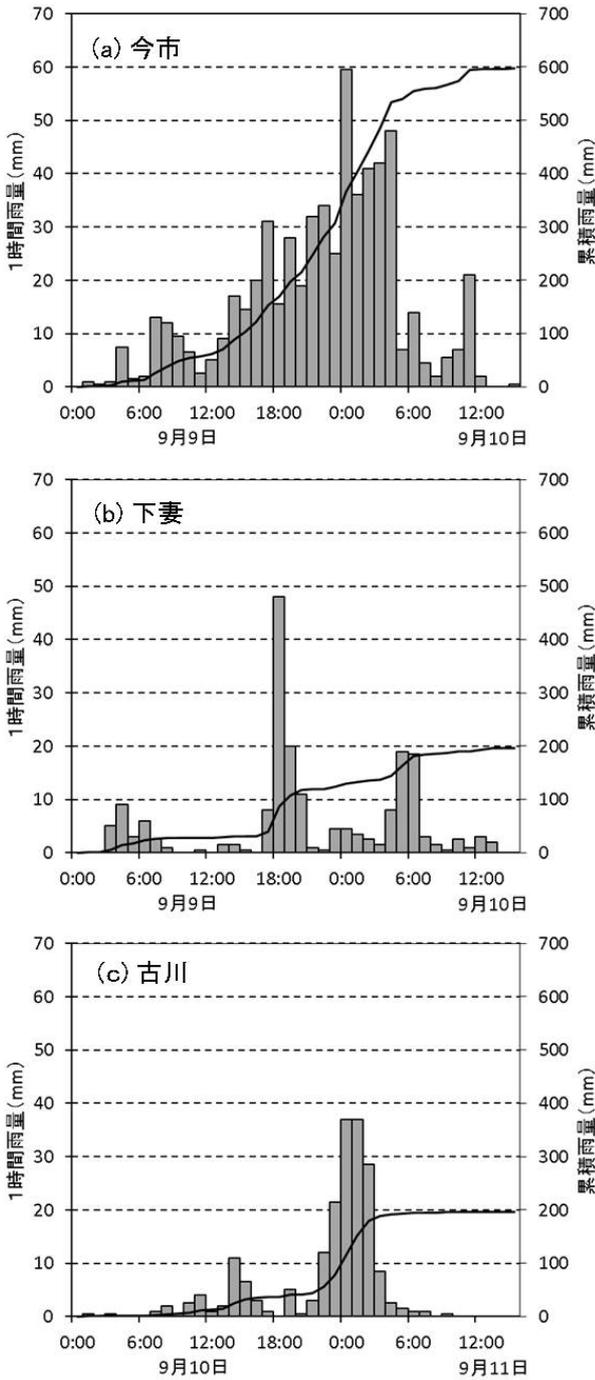


図5 アメダス (a) 今市, (b) 下妻, (c) 古川における1時間雨量と積算雨量
 Fig. 5 Hourly and cumulative rainfall at (a) Imaichi, (b) Shimotsuma, and (c) Furukawa observatory of AMeDAS.

3.2 MCSの特徴

図6aは、AITCCで検出されたMCSの個数の時間変化を示す。MCSは2015年9月9日0時頃から急激に増加し、9:48に極大値47個に達する。その後、20:30には7個に減じ、9月10日8:24に再び30個

に増加する。ここで便宜的に、MCSの個数が極小となった9月9日20:30を境に2つの期間に分ける。すなわち期間1を9月9日0:00から20:30、期間2を9月9日20:32から10日15:00とする。MCSの平均数は期間1で25.1個、期間2で15.2個であり、t検定の結果、平均数は有意水準99%で異なっていた。

図6bはMCSの総面積の時間変化を示す。MCSの面積の変動は、必ずしも個数の変動とは一致しない。たとえばMCSの個数が7個まで減少した9月9日20:30には、MCSの総面積はそれほど小さくない。この時刻は、面積が400 km²以上40,000 km²未満で定義されるメソβスケールMCSの面積(灰色線)が、全体の91.7%を占めており、数が少ないが面積の大きなMCSが多く存在していたことを示唆する。期間1と2のMCS総面積の平均はそれぞれ3,257 km²、2,371 km²であり、期間2の方が小さい。またメソβスケールMCSの平均面積率はそれぞれ50.4%、54.4%であり、その残りはより水平スケールの小さなMCSが寄与していた。

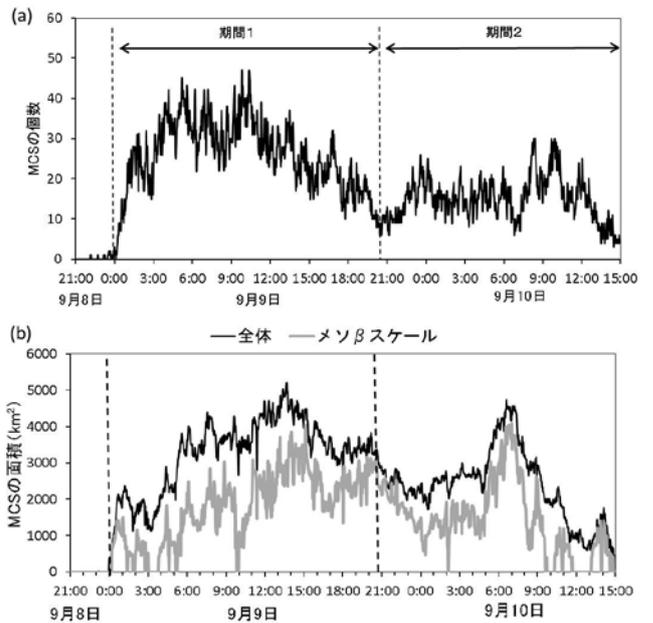


図6 (a) 領域内に出現したMCSの個数. (b)MCSの占める総面積(黒い線)と、メソβスケールMCSの占める面積の時間変化.
 Fig. 6 Time variations of (a) number of the MCS identified in the domain, and (b) total area of the MCS (black line) and that occupied by the meso-β-scale MCS (gray line).

図 7 は期間 1, 2 における MCS の出現箇所を示している。期間 1 においては 1,954 個, 期間 2 においては 1,195 個, 全部で 3,149 個の MCS が発生した。MCS は, 期間 1 では解析領域の広範囲に出現しているが, 期間 2 になると房総半島から福島県南部にいたる帯状の領域で発生している。この領域は, 関東から東北にかけての広い範囲に豪雨をもたらした幅 100 ~ 200 km の帯状の降水域に対応しており, 1,000 個を超える MCS の発生によって帯状降水域がつけられていたことを示している。

図 8 は出現した MCS の面積および寿命の累積

度数分布を示している。なお一部が領域外にある MCS は統計から除かれている。MCS の平均面積は期間 1 で 126.6 km², 期間 2 で 160.0 km², 全期間で 138.0 km² であった。またメソβスケール MCS が占める個数の割合は, 期間 1, 2 でそれぞれ 7 %, 9 % にすぎなかった。発生した MCS の面積の最大値は期間 1 で 3,584 km², 期間 2 で 4,042 km² であった。MCS の平均寿命は期間 1 で 11.4 分, 期間 2 で 15.5 分, 全期間で 13.0 分であり, 最大値はいずれの期間も 94 分であった。

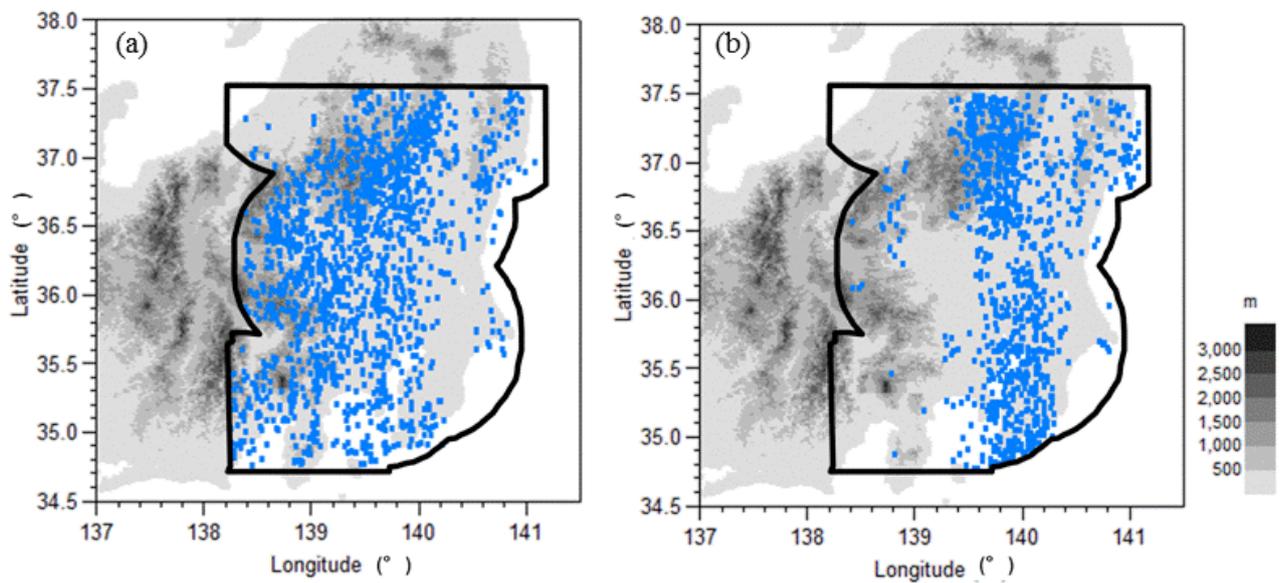


図 7 (a) 期間 1, および (b) 期間 2 における MCS の出現箇所(青い点)。実線は解析範囲を示す。
Fig. 7 Locations where MSC formed during (a) period 1 and (b) period 2 (blue spots). Solid lines indicate the analyzed area.

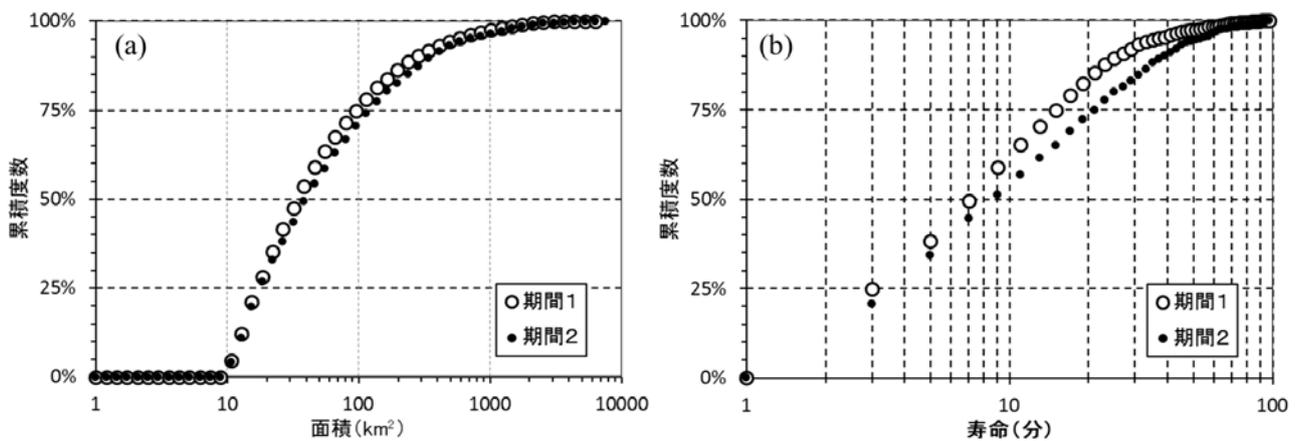


図 8 (a) MCS の面積, および (b) 寿命の累積度数分布
Fig. 8 Cumulative frequency distributions of (a) area and (b) life time of MCS.

4. 浸水深の調査

防災科学技術研究所の研究グループは、2015年9月19日に常総市で浸水深調査を実施した。方法は、洪水痕跡に基づく浸水深の巻尺による計測である。浸水深は道路面からの高さとし、浸水痕跡の残る構造物が道路から離れている場合には、巻尺の測定値に道路面から構造物の基礎までの高さを加えた。なお、地面状態等により痕跡に近寄れなかった場合は、巻尺の代わりにレーザー距離計(Laser Technology製 トゥルーパルス360)を用いて道路面からの浸水深を測定した。また近隣住民からの証言が得られた場合は、証言に基づき測定値を修正した。

測定地点の標高は、国土地理院・基盤地図情報(数値標高モデル)5mメッシュ(標高)に基づいて記録

し、緯度経度はGPSを用いて現地で測定した。用いたGPSの機種は以下の4種類である。

- GARMIN eTrex Vista HCx
- GARMIN eTrex 30J
- オリンパス製 STYLUS TG-2 (Google Earthで補正)
- オリンパス製 STYLUS TG-3 (Google Earthで補正)

調査は7名が3班に分かれて実施した。移動には自転車を用いた。その結果、常総市内の80箇所で浸水深のデータが得られた。調査結果を地図上にプロットしたものを図9に、得られた浸水深のデータを表2に示す。

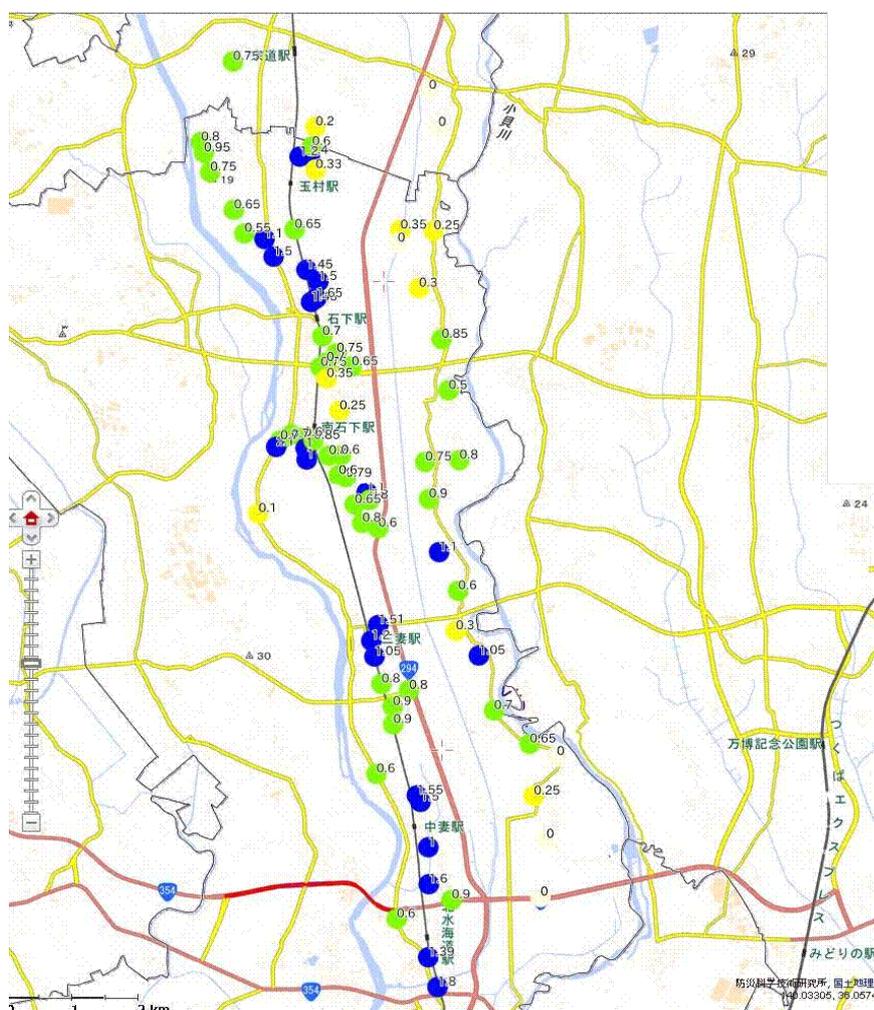


図9 常総市における浸水深(m)。青色は1m以上、緑色は0.5m以上1m未満、黄色は0m以上0.5m未満を示す。背景は国土地理院標準地図である。

Fig. 9 Inundation depth (m) in Joso City. Blue, green, and yellow spots indicate water levels higher than 1 m, 0.5 m and 0 m, respectively. The background is the standard map of the Geospatial Information Authority, Japan.

表 2 常総市で実施した浸水深調査の結果
Table 2 Results of the investigation of inundation depth in Joso City.

No.	緯度	経度	浸水深(m)	標高(m)
1	36.15215	139.9603	0.75	18.35
2	36.14111	139.9549	0.8	18.39
3	36.13963	139.9554	0.95	18.03
4	36.13182	139.9604	0.65	18.25
5	36.12859	139.9622	0.55	17.91
6	36.12782	139.9656	1.1	17.14
7	36.12542	139.9671	1.5	16.56
8	36.10021	139.9682	0.7	15.84
9	36.09935	139.9675	2.1	16.25
10	36.10105	139.9701	0.7	15.85
11	36.10063	139.9722	0.6	15.38
12	36.09763	139.9727	1	15.04
13	36.09009	139.9646	0.1	15.17
14	36.05441	139.9844	0.6	13.66
15	36.03453	139.9878	0.6	13.52
16	36.03714	139.9971	0.9	12.56
17	36.13698	139.9564	0.75	18.16
18	36.09917	139.9725	1	15.62
19	36.1482	139.9932	0	17.57
20	36.14313	139.9948	0	16.81
21	36.12897	139.994	0.25	16.09
22	36.12906	139.9884	0.35	15.83
23	36.12727	139.988	0	15.76
24	36.1211	139.9916	0.3	15.83
25	36.11412	139.9954	0.85	15.39
26	36.1071	139.9966	0.5	16.49
27	36.0973	139.9926	0.75	14.7
28	36.09754	139.9984	0.8	13.5
29	36.09208	139.9932	0.9	14.36
30	36.0848	139.995	1.1	13.61
31	36.0795	139.9982	0.6	14.76
32	36.07402	139.9978	0.3	14.16
33	36.07062	140.0016	1.05	13.11
34	36.06309	140.0042	0.7	13.66
35	36.05852	140.0102	0.65	13.59
36	36.05679	140.0148	0	15.13
37	36.05138	140.0109	0.25	13.45
38	36.04544	140.013	0	16.89
39	36.03753	140.012	0	16.55
40	36.1391	139.9715	1.2	16.89
41	36.13929	139.9732	1.4	16.55
42	36.14049	139.9736	0.6	16.61
43	36.1432	139.9742	0.2	15.86
44	36.13734	139.9742	0.33	17.14
45	36.12914	139.9706	0.65	15.96
46	36.1236	139.9726	1.45	15.78
47	36.12203	139.9746	1.5	15.79
48	36.1197	139.9743	1.65	15.67
49	36.11921	139.9734	1.43	15.74
50	36.11451	139.9753	0.7	16.02

51	36.11219	139.9777	0.75	15.42
52	36.11034	139.9802	0.65	15.47
53	36.11093	139.976	0.7	15.5
54	36.11026	139.975	0.75	15.66
55	36.10873	139.976	0.35	15.96
56	36.10431	139.9782	0.25	15.48
57	36.09822	139.9785	0.6	15.04
58	36.09816	139.9764	0.8	14.97
59	36.10026	139.9738	0.85	15.21
60	36.09543	139.9781	0.6	15.02
61	36.09507	139.9792	0.79	14.28
62	36.09298	139.9828	1.1	12.84
63	36.09132	139.9807	0.65	12.8
64	36.08878	139.982	0.8	12.49
65	36.09195	139.9832	0.8	12.61
66	36.08809	139.9847	0.6	13.59
67	36.07481	139.9847	1.51	13.16
68	36.07266	139.9836	1.2	13.53
69	36.07049	139.9841	1.05	12.95
70	36.06674	139.9853	0.8	12.74
71	36.06586	139.9899	0.8	11.89
72	36.06365	139.9872	0.9	13.52
73	36.06118	139.9872	0.9	13.34
74	36.05146	139.9912	1.55	12.87
75	36.05056	139.9918	1.5	12.84
76	36.04434	139.9931	1	11.3
77	36.03928	139.9932	1.6	12.73
78	36.02926	139.9931	1.39	12.78
79	36.02518	139.9947	1.8	12.01
80	36.01851	139.9914	0.6	12.44

5. まとめ

平成 27 年 9 月関東・東北豪雨における MCS の特徴を、国土交通省 XRAIN を用いて統計的に解析した。出現した MCS の総数は 3,149 個、平均面積は 138.0 km²、平均寿命は 13.0 分であった。解析期間を、幅 100 ~ 200 km の帯状の降水域が形成された 9 月 9 日 20:30 を境に期間 1 と期間 2 に分けたところ、期間 2 は期間 1 に比べて出現した MCS の個数が少なく(1,954 個→1,195 個)、MCS の総面積が小さく(3,257 km²→2,371 km²)、MCS の平均面積が大きく(126.6 km²→160.0 km²)、メソβスケール MCS の面積寄与率が大きく(50.4 %→54.4 %)、MCS の平均寿命が長かった(11.4 分→15.5 分)。おそらく 2 つの期間の特徴の違いは、期間の前半と後半とで MCS が発生・発達した環境場の違いを反映したものと考えられる。

また、防災科学技術研究所が 2015 年 9 月 19 日に常総市で実施した浸水深調査結果を公表した。

謝辞

XRAINのデータは国土交通省より提供され、国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」：データ統合・解析システム(DIAS)の枠組みの下で収集・提供されたものである。また本研究の一部は科学研究費補助金(特別推進費)「平成27年9月関東・東北豪雨による災害の総合研究」(研究代表者：田中茂信)の助成を受けた。

参考文献

- 1) 気象庁(2015a)：日々の天気図。(http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/, 2017.3.16)。
- 2) 気象庁(2015b)：平成27年9月関東・東北豪雨及び平成27年台風第18号による大雨等。災害時自然現象報告書，2015年第1号，90pp。
- 3) 気象研究所(2015)：平成27年9月関東・東北豪雨の発生要因～2つの台風からの継続的な暖湿流の流入と多数の線状降水帯の発生～。(http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H27/270918/press20150918.pdf, 2017.3.16)。
- 4) 呉 修一・森口周二・堀合孝博・小森大輔・風間 聡・田中 仁(2016)：2015年9月東北豪雨による渋井川洪水氾濫の特徴。自然災害科学，**35**，87-103。
- 5) 内閣府(2016)：平成27年9月関東・東北豪雨による被害状況等について。(http://www.bousai.go.jp/updates/h27typhoon18/pdf/h27typhoon18_28.pdf, 2017.3.16)。
- 6) 落合博貴・櫻井正明・若井明彦・蔡 飛・林 一成(2016)：平成27年9月関東・東北豪雨による栃木県内の土砂災害調査報告。日本地すべり学会誌，**53**，105-108。
- 7) P. C., S., R. Misumi, T. Nakatani, K. Iwanami, M. Maki, T. Maesaka, and K. Hirano (2016): Accuracy of quantitative precipitation estimation using operational weather radars: a case study of heavy rainfall on 9 - 10 September 2015 in the east Kanto region, Japan. Journal of Disaster Research, Vol. 11, 1003-1016。
- 8) 佐山敬洋・寶馨(2016)：平成27年9月関東・東北豪雨に伴う鬼怒川氾濫の浸水深分布推定。土木学会論文集 B1(水工学)，**72**，I_1171-I_1176。
- 9) Shimizu, S., and H. Uyeda (2012): Algorithm for the identification and tracking of convective cells based on constant and adaptive threshold methods using a new cell-merging and -splitting scheme. J. Meteor. Soc. Japan, **90**, 869-889。
- 10) Steiner, M., R. A. Houze, Jr., and S. E. Yuter (1995): Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. J. Appl. Meteor. **34**, 1978-2007。
- 11) 土屋十圀(2016)：2015年9月鬼怒川水害の要因に関する考察。自然災害科学，**35**(特別号)，1-13。
- 12) 山本晴彦・野村和輝・坂本京子・渡邊薫乃・原田陽子(2015)：2015年9月10日に茨城県常総市で発生した洪水災害の特徴。自然災害科学，**34**，171-187。
- 13) 芳村圭・中村晋一郎・鳩野美佐子・向田清峻・石塚悠太・内海信幸・木口雅司・金炯俊・乃田啓吾・牧野達哉・鼎信次郎・沖大幹(2016)：平成27年9月関東・東北豪雨による茨城県常総市における鬼怒川洪水に関する調査及び考察。土木学会論文集 B1(水工学)，**72**，I_1273-I_1278。
(2017年9月20日原稿受付，
2017年10月23日改稿受付，
2017年10月23日原稿受理)

要 旨

一般に、豪雨はメソスケール(水平スケール2-2,000 km)対流系(MCS)によって引き起こされる。平成27年9月関東・東北豪雨を引き起こしたMCSの統計的な特徴を、国土交通省XRAIN(eXtended RAdar Information Network)のデータを用いて調べた。その結果、解析範囲において3,149個のMCSが出現し、その平均面積は138.0 km²、平均寿命は13.0分であった。MCSの統計的な特徴は、幅100～200 kmの降雨帯が形成される前後でわずかに変化した。2015年9月19日に実施した常総市における浸水深調査の結果も示す。

キーワード：豪雨，メソスケール対流系，浸水深