10分雨量データとXRAINデータを用いた 名古屋における強雨事例の雨域特性解析

CHARACTERISTICS OF RAINFALL AREAS OF HEAVY RAINFALLS IN NAGOYA SEEN IN 10-MINUTE AND XRAIN PRECIPITATION DATA

庄 建治朗¹・谷口 健司²・富永 晃宏³
Kenjiro SHO, Kenji TANIGUCHI and Akihiro TOMINAGA

¹正会員 博（工） 名古屋工業大学助教 ながれ領域（〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町）

²正会員 博（工） 金沢大学准教授 理工研究域環境デザイン学系（〒920-1192 金沢市角間町）

³正会員 工博 名古屋工業大学教授 ながれ領域（〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町）

Precipitation analysis for several heavy rainfalls that occurred in Nagoya City was performed based on 10-minute and hourly precipitation data. Rainfall distribution analyses showed that a rain band in the direction of the prevailing wind at middle levels was formed in 9 out of 10 major heavy rainfall events in past 56 years. The rain band consisted of aligned heavy-rain cells of about 5–10 km diameter that traveled successively along the rain band that was generated on a meso-scale convergence line. Also, the result of rainfall analysis using 10-minute precipitation data was compared to rainfall distribution based on XRAIN (X-band polarimetric RAdar Information Network, that was installed in Nagoya area in 2010) for the rainfall event in 2011 and its validity and precision was evaluated.

Key Words : 10-minute precipitation data, localized heavy rainfall, characteristics of rain bands, XRAIN (X-band polarimetric RAdar Information Network), Nagoya

1. はじめに

東海地域では、局地的に集中した豪雨による浸水被害が近年度々発生している。特に、名古屋市を含む愛知県西部では、人口や資産が低地の平野部に集積しているため、その対策が切実に求められる。しかし、空間的・時間的に限られた範囲に集中した強雨は、その地域のメソ気象が関係するため、発生位置や時刻、規模等を正確に予測することは現段階では容易ではない。

こうした強雨の予測精度を高めるためには、過去にその地域で発生した強雨の事例について詳細な解析を行い、その特性を理解することが重要である。庄ら¹⁾は、愛知県や名古屋市等により設置されている多数の雨量計による10分雨量の観測データを用い、2000年東海豪雨と2008年8月末豪雨について、詳細な雨域の動きと気象条件との関係について解析した。その結果、愛知県西部に形成されたメソ収束線で発生した降水セルが上空の風に流され、同一経路上を次々と通過することによって帯状の領域に集中した大雨をもたらした様子が再現された。また、過去22年分の愛知県の雨量観測データの解析により、知

多半島北部から名古屋にかけての領域で継続時間3時間程度の大雨頻度が比較的高く、東海豪雨と類似したメカニズムによる強雨がこの地域で時折発生している可能性が示唆された。本稿では、これを検証するため、さらに過去に遡って名古屋における強雨事例を抽出し、それらについて降水セルの動きや帯状強雨域の出現位置・移動速度等とメソ収束線の位置や中層風等の気象条件との関係を調べ、2000年東海豪雨等と共通した特徴が見られるかを検討する。なお、10分雨量データの資料期間は10～25年程度と限られていることから、より資料期間の長い時間雨量データも利用し、できるだけ多くの強雨事例について可能な解析を行って、局地的な強雨の発生位置・規模等の予測精度向上に寄与することを目指す。

また、東海地域では、国土交通省によるXバンドMPレーダネットワーク（XRAIN）の運用が2010年度より開始され、非常に高分解能（約250mメッシュ、1分間隔）の降雨分布が得られることから、今後発生する局地的豪雨の監視に威力を発揮することが期待されている。本稿では、XRAIN運用開始後に名古屋周辺地域で発生した2011年9月20日の大雨事例を用い、10分雨量データとXRAINデータによる雨域の解析結果の比較も行う。

こうした検討を積み重ねることにより、過去の強雨についての地上雨量計等による観測データと今後発生する強雨についてのXRAINによる観測データとを同列の条件の下で比較し、大雨特性の長期的な変化傾向等についての解析も可能になっていくものと期待される。

2. 10分雨量データとXRAINデータによる雨域解析の比較

東海地域におけるXRAINの運用が開始されて3年が経過したが、本研究で対象とするのは数年に1回程度発生する強雨であることから、こうした強雨のXRAINによる観測事例が蓄積されるにはまだ相当の時間を要すると考えられる。それ故、多くの強雨事例について雨域特性を検討するためには、資料期間の長い地上雨量等の既存の観測データに基づく解析を行う必要がある。本章では、XRAIN運用開始後に発生した強雨である2011年9月20日の事例を用い、10分雨量データによる雨域の解析結果をXRAINデータと比較し、相互の関係について検討する。

2011年9月20日は、南西諸島沖を発達しながら接近してくる台風15号による南方からの湿った気流と活発化された秋雨前線の影響により、各地で大雨となった。東海地域では、岐阜県多治見市では総降水量496mmと2000年9月11日東海豪雨時を上回る大雨が降り、下校中の児童1名が増水した用水路に流され死亡した。名古屋市でも北部と東部を中心に大雨となり、庄内川左岸で越水が発生、一時は市内の109万人に避難勧告が出される事態となった。図-1は降雨ピーク時の地上天気図であるが、台風と秋雨前線の位置関係は2000年東海豪雨時と酷似してい

る。台風の動きが遅く、気圧配置がなかなか変化しなかったために長く大雨が降り続いたのも東海豪雨と共通である。

本章の解析で使用した10分雨量データは、愛知県、名古屋市、気象庁等が所管している雨量計173箇所の観測データである。これらは転倒ます型雨量計であり、10分毎のテレメータ観測値が0.5mm又は1mm単位で保存されている。雨量計の配置密度は名古屋市域で特に高く、市の面積326.4km²に35箇所の雨量計が配置されているため、平均して9.3km²に1箇所の雨量計が配置されていることになる。

図-2は、名古屋における降雨のピークである15:00～16:00の時間帯について、10分毎の雨量分布を示したものである。上段は10分雨量データから求めたものであり、下段は1時間隔で観測されたXRAINによる降雨強度値の10回分の平均を6で割って10分間値に換算したものである。

図-1 地上天気図（2011年9月20日15:00、気象庁提供）

図-2 10分雨量データ（上）とXRAINデータ（下）により解析した名古屋市域における10分毎の降雨量分布（2011年9月20日15:00～16:00）、・は雨量計の位置を表す

る。大きさ数km程度の降水セルが北北東の方向に次々と移動し、帯状領域の降雨域を形成している様子を見ることができる。10分雨量とXRAINによる雨量分布図を比較してみると、地上雨量計で捉えきれない強雨域が一部に見られるものの、両者の雨量分布の位置・形状は非常に良く一致していることが分かる。

図-3 は、個々の降水セルの移動経路を、10分雨量データ（左）及びXRAINデータ（右）よりそれぞれ推定し、2時間毎に3つの時間帯に分けて示したものである。また、ピーク降雨強度値を10分雨量データについては10分毎、XRAINデータについては5分毎にプロットの大きさで示している。両者から推定した降水セルの出現位置・移動方向はほぼ一致しているが、XRAINデータは10分雨量データと比較して空間・時間分解能が格段に高いため、より多くの降水セルについてより詳細に移動経路を追跡できている。これらの結果から降水セルの移動速度を計算したところ、10分雨量データでは13個の降水セルについての平均は北北東（N25°E）へ33km/h、XRAINデータでは29個についての平均は北北東（N22°E）へ47km/hとなり、対象とした6時間を通じて大きな変化はなかった。10分雨量データとXRAINデータによる推定値を比較すると、移動方向はほぼ一致しているが、速さは10分雨量データによる推定値の方がかなり小さい。地上雨量計での観測は10分間隔であり、また特に名古屋市域外では雨量計の配置間隔が大きいため、降水セルの形状等が把握しにくい。そのため、10分雨量データでは速く移動する降水セルの追跡が難しく、追跡可能な降水セルが移動速度の比較的小さいものに偏っている可能性が考えられる。今後さらに事例数を蓄積し、10分雨量データから求めた降水セルの移動速度を補正する手法について検討していく必要がある。

推定した降水セルの移動速度を名古屋におけるウィンドプロファイラデータ（図-4）と比較すると、移動方向は概ね上空3～5km付近の風向に対応していることが分かる。この高度における風速は40～50kt（74～93km/h）程度であり、降水セルの移動速度よりもかなり大きい。

図-3 より、降水セルは20日午前より長時間にわたって、名古屋市東部付近を通るほぼ同じ経路上を次々と通過しており、14:00過ぎになって通過経路が名古屋市中心部より移動したことが分かる。移動経路が名古屋市東部付近で数時間停滞したのは、2000年東海豪雨時にも見られた現象である。記録的な豪雨となった岐阜県多治見市付近について、通過した降水セルの個数を時間帯毎にみると、a) 10:00-12:00では5個、b) 12:00-14:00では5個、c) 14:00-16:00では0個となった。約4時間にわたって、幅10km以下の狭い領域を少なくとも10個の降水セルが次々と通過して行ったことが分かる。

a) 10:00-12:00

b) 12:00-14:00

c) 14:00-16:00

図-3 10分雨量データ（左）とXRAINデータ（右）により解析した降水セルの中心位置の軌跡

図-4 名古屋におけるウィンドプロファイラデータ
(2011年9月20日10:00-16:00, 気象庁提供)

3. 名古屋における過去の強雨事例の抽出と雨域解析

前章において、2011年9月20日の強雨事例について10分雨量データとXRAINデータによる雨域解析結果を比較し、両者の結果がよく一致していること、また降水セルの追跡についても、10分雨量データでは移動速度が小さめに推定される傾向があるものの、ある程度可能であることが示された。この結果に基づき、本章では、XRAINデータの得られない過去の強雨事例について、10分雨量データと時間雨量データを用いて雨域特性の解析を行い、2000年東海豪雨等と共通する特徴や相違点について検討する。

表-1 は、1956～2011年の56年間において、名古屋地方気象台で観測された強雨を、最大3時間雨量（生起時刻の前3時間雨量）の大きいものから10例取り出したものである。1976年以降はアメダスデータ、アメダス展開前の期間については区内気象観測毎時降水量原簿を調査した。ここで抽出された10例全てが8月末から9月に発生しており、この地域において継続時間3時間程度の大雨は、秋雨前線や台風に関連したものが多くを窺わせる。また、10例中9例までが1980年代以降に発生している。なお、3時間以外の様々な継続時間についても同様の解析を行ったが、上記のような特徴は継続時間3時間において最も顕著であった。

表-1 に抽出された10降雨のうち、1位（2000年9月東海豪雨）と4位（2008年8月末豪雨）については過去に様々な解析がなされている^{1),2),3),4)}。また、10位（2011年9月20日）については前章で検討した。他の事例についても、10分雨量及び時間雨量データを用いて雨域を解析し

たところ、10例のうち9例について、2000年東海豪雨や前章で取り上げた2011年9月20日事例と類似した、北北東から南南西に伸びる帯状の強雨域が認められた。これは、この地域における最大級の大雨は、梅雨前線や台風本体などによる降雨ではなく、主として局地的な収束線が停滞して生じるメソ対流系^{5),6),7)}によってもたらされることを示唆している。

帯状強雨域は、南東から伊勢湾に吹き込む暖湿気と内陸の冷氣塊との間で形成されるメソ収束線と密接に対応していることが2000年東海豪雨と2008年8月末豪雨について示された^{1),2),3)}が、そのことをより多くの事例で確認するため、表-1 に掲げた強雨事例のうち帯状降雨域の認められた9事例について、愛知県及び隣接地域における地上の風向風速と気温、強雨域の分布を解析した。図-5 は、そのうち最大3時間雨量の大きい5事例について、アメダスデータと愛知県等の雨量観測データを用い、名古屋における降雨ピーク時（最大時間雨量の生起時刻）とその2時間前、2時間後における風向風速、気温及び時間雨量の分布を重ねて示したものである。なお、気温は6.5°C/kmで海面高度に補正し、風速は近藤ら⁸⁾の手法に基づき、中立安定を仮定して地上高50mの風速に換算した。換算の際に必要な地表面粗度の値は桑形・近藤^{9),10)}によった。e) 1994年9月17日を除く4事例については、降雨ピーク時において気温・風速が急変する収束線が知多半島付近を通っていることが分かる。特に、最大3時間雨量1～3位の事例 a)～c)については、帯状強雨域の形状も酷似している。

a) 2000年9月11日の東海豪雨については、南北に細長い降雨域が西の三重県方面から移動してきて、名古屋市東部・知多半島北部付近で数時間停滞している。特に知多半島付近での東海豪雨の降水システムは降雨帯とメソ

表-1 名古屋市における強雨事例（1956～2011年）

生起日時	最大3時間雨量	帯状強雨域の走向	降水セルの移動方向	潮 岬 500hPa（上）、 700hPa(下)の風向風速
2000年9月11日 21時	214 mm	北北東-南南西	北北東	南南西 25 ノット 南 25 ノット
1983年9月28日 16時	126 mm	北北東-南南西	－	南西 68 ノット 南西 72 ノット
1991年9月19日 7時	123 mm	北北東-南南西	北ないし北北東	西 31 ノット 南西 23 ノット
2008年8月29日 2時	121 mm	北-南	北ないし北北東	西 4 ノット 南南東 8 ノット
1994年9月17日 22時	109 mm	北北西-南南東	北北西	南 52 ノット 南 21 ノット
1987年9月25日 4時	107 mm	北北東-南南西	－	南西 41 ノット 南南西 39 ノット
1999年9月14日 23時	103 mm	北北東-南南西	－	南南西 41 ノット 南 37 ノット
2004年9月5日 17時	101 mm	－	－	南南西 16 ノット 南 16 ノット
1971年9月26日 19時	98 mm	北-南か	－	－
2011年9月20日 16時	88 mm	北北東-南南西	北北東	南 34 ノット 南 41 ノット

a) 2000 年 9 月 11 日 (左から 17 時、19 時、21 時)

b) 1983 年 9 月 28 日 (左から 14 時、16 時、18 時)

c) 1991 年 9 月 19 日 (左から 5 時、7 時、9 時)

d) 2008 年 8 月 28 日 (左から 22 時、24 時、29 日 2 時)

e) 1994 年 9 月 17 日 (左から 19 時、21 時、23 時)

図-5 名古屋における降雨ピーク時(中央)、その2時間前(左)、2時間後(右)における海面気温(数字と等値線)、風速(矢印)、前1時間雨量(グラデーション)の分布

収束線の走向が平行なバックサイドビルディング型¹⁰⁾の構造をしており、降雨域が衰弱せず長時間持続している。

この特徴は、b) 1983年9月28日でも同様に認められる。ただし、2000年東海豪雨では動きの遅い沖縄付近の台風と南東海上の高気圧の縁辺流によって暖湿気供給されたため、同じ場所で大雨を降らせる条件が長時間持続したが、1983年の事例では台風から変化した温帯低気圧の接近に伴うものであることから、地上風向等の気象条件が短時間で変化しており、これが総雨量の大きな差となって表れている。

c) 1991年9月19日の事例も上記2例と似通っているが、収束線の走向が北東-南西よりとなっており、帯状強雨域の走向と一致していない。また、南方を通過する台風の前面で生じた暖湿気流であることから、このような条件は長時間持続していない。

次にd) 2008年8月28～29日の2008年8月末豪雨については、降雨域が西から近づいてくるのは東海豪雨と同様であるが、名古屋付近に到達した降雨域はやがて衰弱し、代わってその南側、つまり地上風の風上側に新たな降雨域を発生させており、典型的なバックビルディング型降雨^{11),12)}の過程を辿っている。

以上、個別の強雨事例の特徴について共通点と相違点を見てきたが、上記の事例に共通して、名古屋における降雨ピーク時には伊良湖及び豊橋の風向が概ね南東ないし南南東となっている。また、走向が北北東-南南西ないし北東-南西の収束線が知多半島付近を通っており、そこから北北東ないし北方に向かって帯状強雨域が伸びている。帯状強雨域は、収束線で発生した積乱雲が上空の風に次々と流されることによって生ずると考えられ、その走向は中層風の風向に概ね対応している。表-1には、10の強雨事例について、10分雨量・時間雨量データの解析から得られた、名古屋の降雨ピーク時における帯状降雨域の走向、降水セルの移動方向、及び潮岬での高層気象観測における500hPa及び700hPaの風向風速を、データが得られたものについて示してある。

日本付近で地形に起因して線状降水帯が形成されやすい例としては九州西方の甕島ラインや長崎ライン⁶⁾が有名であるが、名古屋から知多半島付近に形成される線状降水帯も地形に起因したこの地方特有の現象であると著者らは予想している。そのメカニズムの解明には、さらに事例数を増やすとともに、物理気象モデルを用いた検討なども行っていく必要がある。

4. おわりに

本稿では、2011年9月20日の強雨事例について10分雨量データとXRAINデータによる雨域解析を行い、両者の結果がよく一致していることを確認した。そして、過去56年間に於いて名古屋で3時間降水量が大きい強雨事例

を抽出し、主に地上雨量データを用いた解析を行った。その結果、この地域における最大級の大雨はほぼ全て9月に発生しており、多くの場合にはメソ収束線に対応した帯状の強雨域を形成していることが示された。

こうした強雨域の発生位置や強度、持続時間や移動速度といった情報は、洪水防御計画の策定や避難・警報体制の検討などをする際に極めて重要である。今後も事例数を増やして検討し、過去の観測データに基づく経験的・統計的アプローチと物理モデルによるアプローチの両面から局地的強雨の予測精度向上につなげていきたいと考えている。また、Xバンドに比べて分解能は落ちるが、気象庁や国土交通省のCバンドレーダーのデータも過去に遡って入手可能であることから、その利用についても検討していきたい。

謝辞：観測データをご提供いただいた愛知県、名古屋市、気象庁等の関係各機関に謝意を表したい。なお本研究は、(財)河川環境管理財団名古屋事務所 調査・研究事業によって実施した。

参考文献

- 1) 庄建治朗, 谷口健司, 富永晃宏: 10分雨量データを用いた愛知県における短時間強雨の雨量解析, 水工学論文集, Vol.55, pp.S_499-S_504, 2011.
- 2) 渡辺真二: 東海豪雨の観測と解析, 天気, Vol.49, pp.609-619, 2002.
- 3) 肆矢朗久, 坪井嘉宏: 2008年8月28～29日に愛知県で発生した大雨について, 平成20年度気象学会中部支部研究会講演要旨集, pp.57-62, 2008.
- 4) 小倉義光, 隈部良司, 西村修司: 「平成20年8月末豪雨」の天気系, 特にメソ対流系の組織化について, 天気, Vol.58, pp.201-217, 2011.
- 5) 小倉義光: メソ気象の基礎理論, 東京大学出版会, pp.172-176, 1997.
- 6) 吉崎正憲, 村上正隆, 加藤輝之 編: メソ対流系, 気象研究ノート第208号, 日本気象学会, 2005.
- 7) 渡辺真二, 坪井嘉宏, 肆矢朗久: 中部地方におけるメソ対流系の発生状況, 平成20年度気象学会中部支部研究会講演要旨集, pp.57-62, 2008.
- 8) 近藤純正, 桑形恒男, 中園 信: 地域代表風速の推定法, 自然災害科学, Vol.10, pp.171-185, 1991.
- 9) 桑形恒男, 近藤純正: 東北南部から中部地方までのアメダス地点における地表面粗度の推定, 天気, Vol.37, pp.197-201, 1990.
- 10) 桑形恒男, 近藤純正: 西日本アメダス地点における地表面粗度の推定, 天気, Vol.38, pp.491-494, 1991.
- 11) 篠田太郎: 集中豪雨をもたらす降水システムの構造 ～平成20年8月末豪雨を例として, 第16回日本気象学会中部支部公開気象講座「集中豪雨」, pp.8-13, 2010.
- 12) 吉崎正憲, 加藤輝之: 豪雨・豪雪の気象学, 応用気象学シリーズ4, 朝倉書店, pp.92-115, 2007.

(2013. 9. 30受付)