

□集中豪雨をもたらす線状降水帯について

気象庁気象研究所 台風・災害気象研究部
部長 加藤 輝之

1. はじめに

毎年のように3時間降水量200mmを超える集中豪雨がしばしば観測され、土石流や河川氾濫などの災害が引き起こされて、多くの人命が失われている。集中豪雨の多くは、図1aの赤楕円で示した2023年7月10日朝に九州北部で発生した大雨のように、「線状降水帯」と名付けられたほぼ停滞する線状に伸びた降雨域（降雨バンド）によってもたらされている（吉崎・加藤，2007；津口，2016；Kato，2020；加藤，2022）。線状降水帯は、気象庁の用語集では「次々と発生する発達した対流セル（積乱雲）が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ50～300 km 程度、幅20～50 km 程度の

強い降水をともなう雨域」として定義されている。この定義からもわかるように、ほぼ同じ場所に強雨が持続することから、寒冷前線などにともなって移動する降雨バンドは線状降水帯を作り出さない。そのことを具体的に確かめてみる。気象レーダーによる特定の時刻の降水強度を示している図1aでは壱岐島から福岡県北東部に東西に伸びる線状の降雨バンド（紫色の破線領域）がみられる。それは徐々に南側に移動しているため、図1aでは線状の降雨域であっても、降水量を3時間積算するとその降雨分布は線状にならない（図1b）。逆に、佐賀県北部から福岡県にかけて線状降水帯が解析されている赤楕円の領域には、表示している時刻では線状の降雨域はみられないが、前3時間降水量分布では線状の降雨域になり、線状降水帯だと判断される。

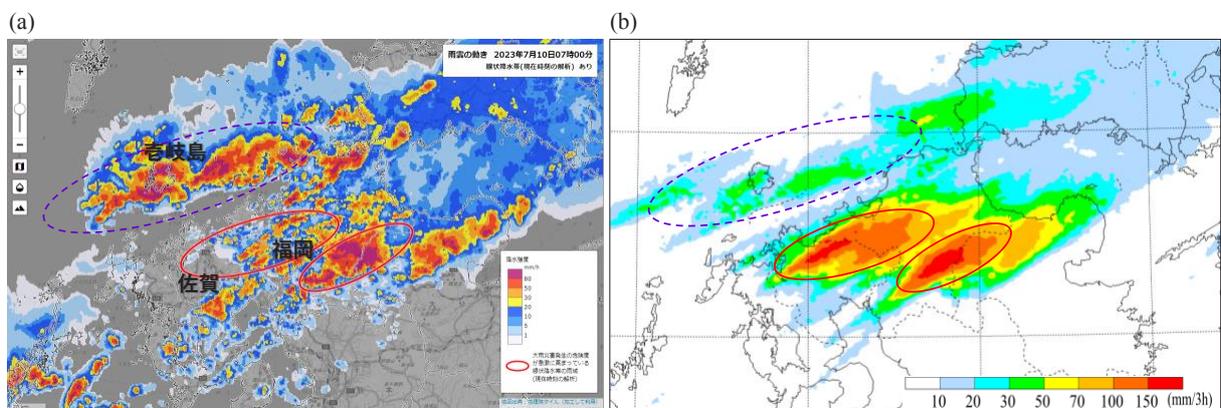


図1 2023年7月10日7時の (a) 気象レーダーによる降水強度分布と (b) 解析雨量から作成した前3時間降水量分布。赤の楕円域は気象庁が発表した線状降水帯の発生領域。

2. 線状降水帯という用語の由来と気象庁での情報発信

1980年代に気象庁が運用する気象レーダーのデータがデジタル化され、それらを全国で合成した雨雲レーダーが作成されるようになった。その後、1990年代にはアメダス等の雨量計で補正した1時間降水量分布（解析雨量）が作成され、そのデータを用いると集中豪雨の多くは線状の降水帯でもたらされることがわかってきた。「線状降水帯」という用語は2000年前後に気象研究所の研究者を中心に、九州の地形に由来する線状に伸びる降雨域を対象に用いられていたが、2007年発行された教科書「豪雨・豪雪の気象学（朝倉書店）」（吉崎・加藤，2007）で現在とほぼ同様の内容が定義された。その後、平成23（2011）年7月新潟・福島豪雨の発生要因として、気象研究所からの報道発表の中で初めて用いられた。特に、2014年8月20日の広島での大雨後に多くの報道機関で使われるようになり、2017年の流行語大賞にノミネートされたこともあり、世間に認知されるようになった。参考までに、「集中豪雨」という用語は1953年8月14日に京都府南部で発生した南山城水害を報道した新聞紙面上で初めて使われ、その水害は降水分布から線状降水帯による大雨だったと考えられる（京都府砂防協会，2004）。

気象庁では令和3年6月から災害に直結する線状降水帯に対し、面積や形状（前3時間降水量100mm以上の領域が500km²を超え、縦横比が2.5以上）の条件に直前までの降水量やキキクルも条件に加え、前3時間降水量が150mm以上に達した際に「顕著な大雨に関する気象情報」として発表している。キキクルとは、地域特性も考慮された大雨警報（洪水）の判断基準に用いている危険度分布である。令和5年5月からは予測技術を活用して10分先、20分先、30分先のいずれかにおいて上記の基準が満たされたときにも発表することになった。また、気象庁は線状降水帯による大雨

の半日程度前からの呼びかけを令和4年6月から開始し、令和6年の出水期には呼びかけを都道府県単位に細分化して行う予定である。

3. 集中豪雨と線状降水帯の出現特徴

集中豪雨と線状降水帯の発生頻度の特徴は、津口・加藤（2014）とKato（2020）が解析雨量を用いて、24時間および3時間降水量分布からそれぞれの閾値（年平均降水量12%、130 mm/3h）を定義することで調査し、最大3時間降水量の観測時での降水量50 mm以上の領域分布の縦横比で線状降水帯かどうかを判断している。その結果では、集中豪雨に対する線状降水帯の割合は約半分であり、台風・熱帯低気圧本体付近（中心から500 kmの領域）を除くと約3分の2に達する（表1）。九州を含む南日本では集中豪雨のほとんどが線状降水帯によるものである。南九州の月別発生数（図2）をみると、梅雨期（6～7月）に線状降水帯が頻発し、梅雨前線付近で発生する集中豪雨のほとんどが線状降水帯によってもたらされていることがわかる。

上述の集中豪雨を判断する閾値を用いて、加藤（2022）は1976～2020年のアメダスデータから、年単位および7月の集中豪雨の発生数の経年変化を調査した。年単位の変化（図3黒系色）では、気象庁の気候変動監視レポートにある1時間降水量50 mmおよび80 mm以上の発生数と同様

表1 1995～2009年の暖候期（4-11月）に発生した集中豪雨における領域別の線状降水帯とその他の事例数。台風・熱帯低気圧本体（台風・熱帯低気圧の中心から500km以内）で発生した集中豪雨は除く。また、領域は図2に示す。（津口・加藤，2014）

	北日本	東日本	西日本	南日本	合計
線状降水帯	25	38	45	60	168(64.4%)
その他	32	38	16	7	93(35.6%)
合計	57	76	61	67	261

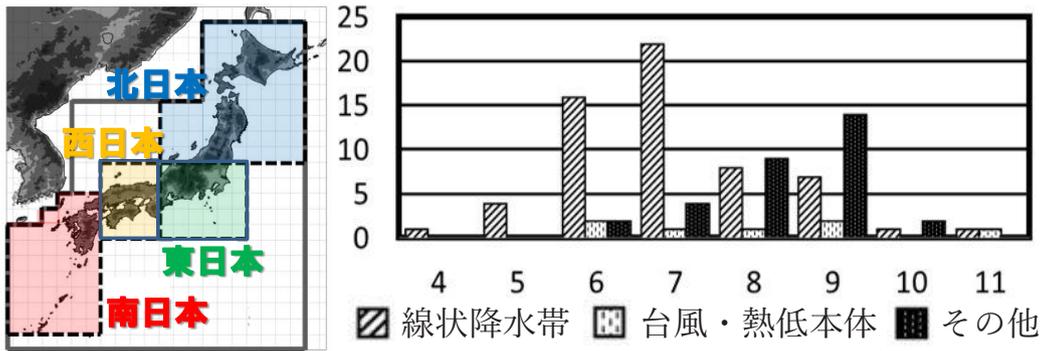


図2 1995～2009年における月別の南日本での台風・熱帯低気圧本体（台風・熱帯低気圧の中心から 500 km 以内）、台風・熱帯低気圧本体を除く線状降水帯、およびその他の要因による集中豪雨の発生事例数。（津口・加藤，2014）

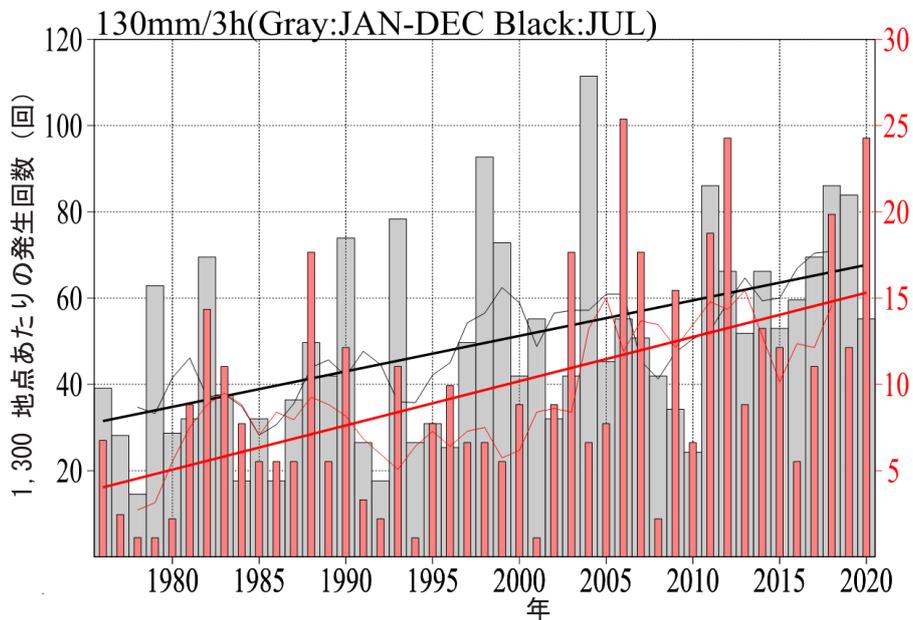


図3 アメダス3時間積算降水量 130 mm 以上の1300地点当たりの年単位（黒系色、左軸）と7月（赤系色、右軸）の発生回数の経年変化。細線は5年移動平均、太線は長期変化傾向。（加藤 2022）

に、集中豪雨の発生数は信頼水準 99%以上で増加傾向を示し、45年間で約2.2倍の長期増加傾向になっている。月別の変化では、梅雨期での集中豪雨の増加傾向が顕著で、7月の発生頻度（図3 赤系色）が45年間で約3.8倍に増大している。上述のように梅雨期の集中豪雨の大半が線状降水帯によってもたらされているので、同時期の線状降水帯による大雨も顕著な増加傾向にあると考えられる。

4. 線状降水帯の形成過程とバックビルディング型形成の例

線状降水帯の形成過程としては主に、大気下層の暖かく湿った空気（暖湿流）が滞留している寒気と暖気の境に作られる局地前線に流入して、前線上で同時に発生した積乱雲が線状に並ぶことで形成する破線型と、下層風の風上側に新しい積乱雲が繰り返し発生し、既存の積乱雲とともに線状に組織化するバックビルディング（BB）型形成

の2つに分類される(図4)。

BB型形成の例として、2014年8月の広島での大雨事例(図5)を紹介する。地上天気図をみると、広島市は東シナ海から日本海上にかけて停滞していた前線の約300km南側に位置し、このような前線と大雨域との位置関係は梅雨期に大雨が発生する多くの事例と類似している。また、大雨をもたらした下層水蒸気は豊後水道から流入したことが報告されている(気象研究所報道発表資料, 2014)。この下層水蒸気流入が継続したこと

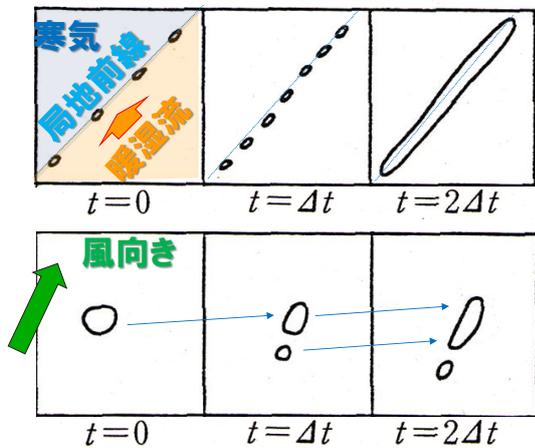


図4 線状降水帯の形成パターン。(上図)破線型と(下図)バックビルディング型。(上図)の破線は局地前線、(下図)の矢印は積乱雲(降水セル)の移動を示す。

で、下述するように、広島県と山口県との県境付近から降雨域が北東方向に伸びて停滞し、線状降水帯が形成されて3時間に200mmを超える大雨となった。

10分ごとの降水強度分布の時系列(図6上図)をみると、20日00時40分には①~④、⑤~⑨の複数の積乱雲で構成されている2つの線状の積乱雲群AとBが存在し、発達した積乱雲は高度16km(対流圏界面)に達している(図6下右図)。積乱雲群Bの形成過程に着目すると、19日23時40分頃に発生した積乱雲⑤が北東に動きつつ、その南西側に次々と積乱雲⑥~⑨が発生して積乱雲群Bを形成していることがわかる。このように積乱雲が進行方向の上流側(逆側)に次々と発生して、3~5個程度の積乱雲で構成された線状の積乱雲群を形成していることから、BB型形成であることが確認できる。また、積乱雲群AとBのように、複数の積乱雲群が連なることで線状降水帯が形成され、線状降水帯には積乱雲→積乱雲群という階層構造がみられる(図6下左図)。さらに、積乱雲群も次々とBB型形成で20日03時ごろまで作り出され、線状降水帯が維持されていた(図略)。

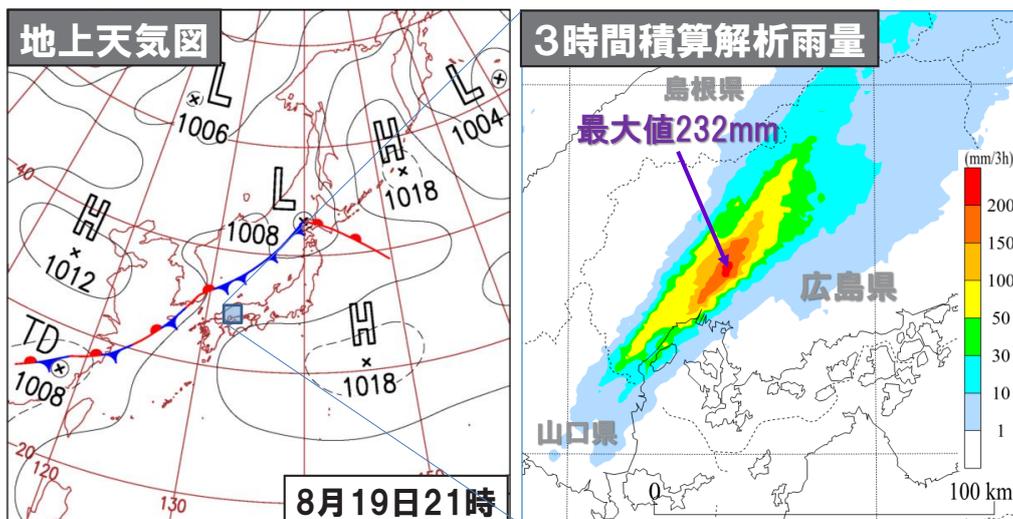


図5 (左図)2014年8月19日21時の地上天気図と(右図)同20日4時までの解析雨量から作成した前3時間降水量分布。

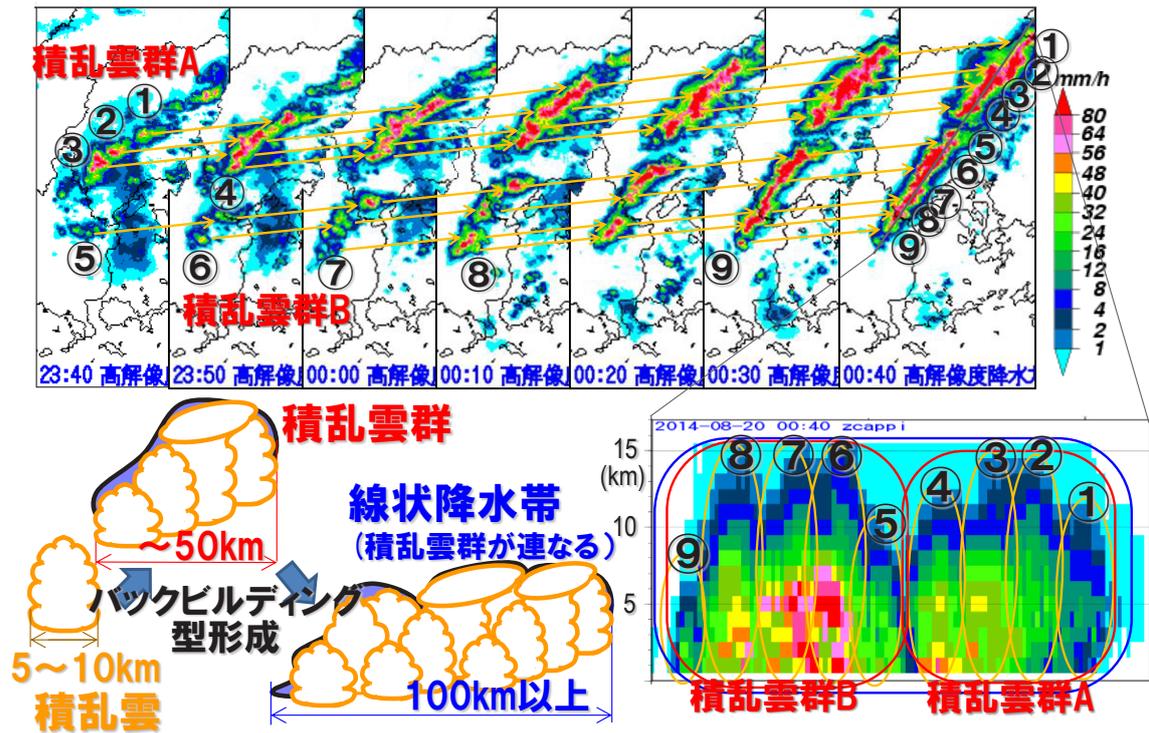


図6 (上図) 2014年8月19日23時40分~20日00時40分(10分毎)の降水強度分布(mm/h)、(下右図)(上図)の20日00時40分の線分上の南西-北東鉛直断面図と(下左図)線状降水帯の階層構造の模式図。(Kato 2020)

5. 線状降水帯の数値モデルでの予測可能性

広島での大雨事例で、数値モデルがどの程度の大雨を予測できたかを紹介する。2014年8月20日4時の水平解像度5km(気象庁メソモデルに対応)、2km(気象庁局地モデルに対応)と250mの数値モデルの予測結果を図7に示す。5kmモデル(図7a)では、線状の降水域の予測も不十分な上、最大降水量が32mmであり、この資料からだけでは大雨を予測するには無理がある。2kmモデル(図7b)では、山口と広島の間境付近の強い降水域の位置が北側に僅かずれているものの、実況(図5右図)とほぼ同じ最大降水量を予測することができている。250mモデル(図7c)ではより実況に近い降水量分布が予想されているが、本ケースでは2kmモデルを用いることで線状降水帯による大雨の予測は可能であった。なお、図6下右図のような積乱雲群が内在している線状

降水帯の構造を再現するには500m以下の数値モデルが必要である(図略)。

2kmモデルである気象庁局地モデルは、予報結果が初期値の1時間後に利用できるように運用されているので、8月19日19時過ぎ(大雨発生の6時間前)には“予報結果を信用すれば”大雨を予測できていたことになる。ここでは、現業運用されている数値モデルの予測結果を予報結果とよぶことにする。予報結果を信用すれば”と述べた。これは、この予測を導いた初期値が最適だったためで、本事例では初期値が新しくなるに当たって予報結果がかなり変わっていた。一例として、1時間後(19日19時)の初期値を用いた2kmモデルの予測結果を図8aに示す。最大降水量は約半分になり、降水域も南側にかなりずれている。さらに新しい初期値になると、予測降水量はさらに減っていた(図8b)。このように初期値に存在する僅かな違いが予報結果に大きく影響する。1つの予報結果だけで、警報を出すかどうかを判断

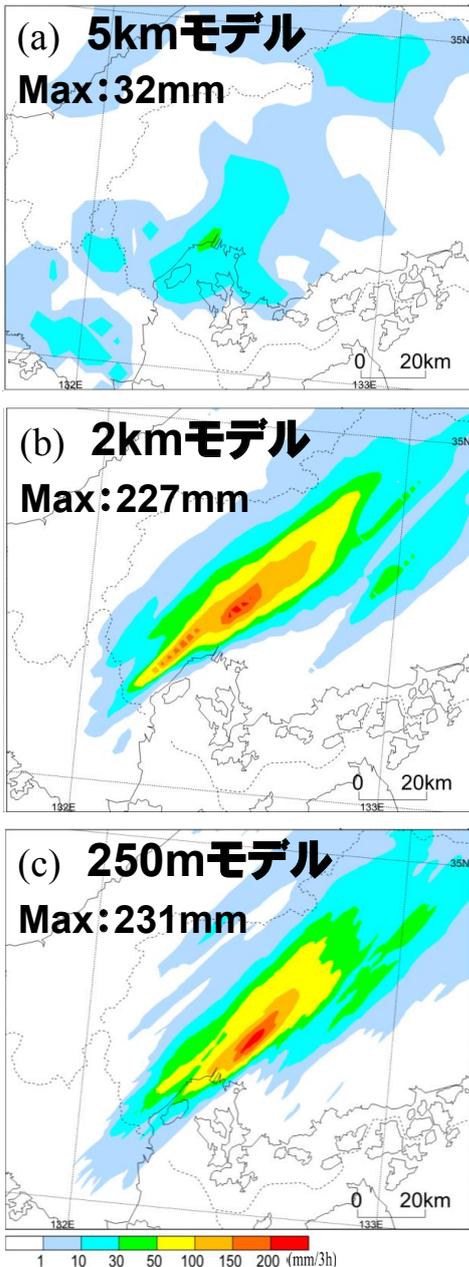


図7 2014年8月20日4時までの水平解像度 (a) 5km, (b) 2km と (c) 250m の数値モデルが予想した前3時間降水量分布 (初期値: 19日18時). (Kato 2020)

する難しさがここにある。また、大雨をもたらす大気下層の水蒸気は日本列島周辺の海上から流入する。陸上と異なり、海上での観測はほとんどなく、もっともらしい初期値の作成がかなり難しいことも大雨予測を困難にしている。その解決策の1つとして、初期値にわずかな変化を付けて、複数の初期値を作成して複数の予報結果を出すアン

サンプル予報という手法がある。この手法は週間天気予報などに用いられてきているが、気象庁局地モデルにも適応させ、線状降水帯予測の精度向上を図る試みがなされているところである。

6. 線状降水帯が発生するための条件

線状降水帯が発生するためには、4章で述べたように、積乱雲が繰り返し発生・発達して、同じ場所で強雨が続くことが必要である。その必要条件としては、まず“大雨のもと”になる大量の水蒸気が継続して大気下層に流入することが条件①になる (図9)。大量の水蒸気流入量は水平風速と水蒸気量の積であり、単に風速が大きいだけでは必ずしも積乱雲は発生できない。積乱雲が発生・発達するためには、流入する空気が暖かく湿っていることが必要であり、それが条件②となる。ま

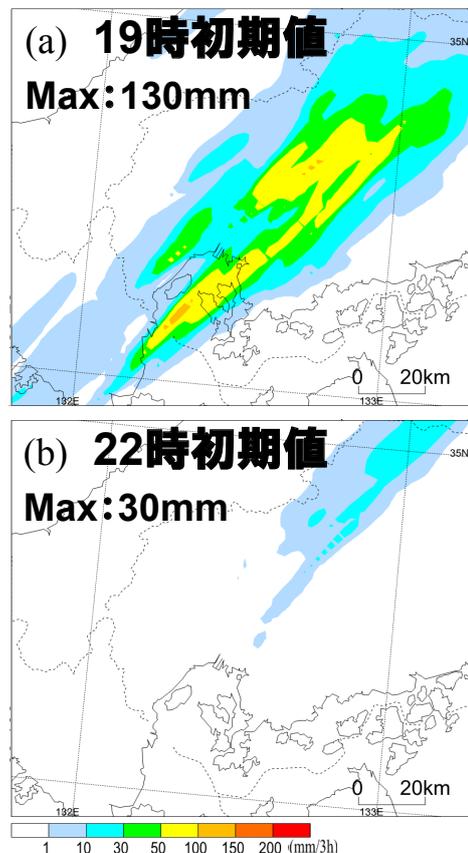


図8 図7bと同じ、ただし (a) 19日19時と (b) 19日22時初期値.



図9 線状降水帯が発生するための条件

た、積乱雲は上空に向かって発達していくが、大気中層が乾燥していると雲が蒸発してしまい、積乱雲の発達が抑制されることになる。積乱雲が背高く発達するためには大気中層が湿っている必要があり、これが条件③となる。

図6で示したように、線状降水帯は複数の積乱雲によって構成・組織化されている。この組織化には適度な鉛直シア（大気下層と上空の風速・風向差）が必要であり、この鉛直シアによって、BB型形成の線状降水帯が作り出される。この適度な鉛直シアの存在が条件④である。他に線状降水帯が発生しやすい条件として、数百 km スケールでみて、上空が上昇流場であることや、大気中層に暖かい空気の流入がないことなどの条件も見出されている。これらの条件と、上述の①～④の条件と合わせて、線状降水帯を診断的に予測するための6条件（加藤，2015；2016）として、2016年5月30日から気象庁の予報現業で利用されている。

7. おわりに

線状降水帯は土砂災害だけでなく、低地での内水氾濫や河川からの外水氾濫をしばしばもたらす。その災害への備えとしては各自治体が作成しているハザードマップ等で災害リスクの高い場所を確認し、その上で、それぞれの場所に応じて必要な

防災気象情報（気象庁が運用している“キキクル”など）を活用することが重要であるとともに、スマートフォン等でも容易に確認できる気象情報を普段からうまく利活用していることが賢明である。

線状降水帯は2章で説明したように、2000年以降に集中豪雨に関わる基礎研究によって生み出された用語だが、防災用語としての一面がある。最後に、気象庁のホームページの専門家向け資料集にある教科書「中小規模気象学」（加藤 2017）の中で、線状降水帯の説明の注釈として記載されている内容を転記させていただく。

集中豪雨と同様に、線状降水帯の統一的な定義はないが、1時間～数時間の積算降水量分布で明瞭に認識できるものである。“線状”と“帯”という同意義的な言葉が繰り返されており、違和感を持たれるかもしれないが、上述のように限定された降雨域のイメージを一般の方に持ってもらい、防災に役立ててもらいたいという思いが込められている。

【参考文献】

- Kato, T., 2020: Quasi-stationary band-shaped precipitation systems, named “senjo-kousuitai”, causing localized heavy rainfall in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 98, 485-509.
- 加藤輝之, 2015: 線状降水帯発生要因としての鉛直シアーと上空の湿度について, 平成26年度予報技術研修テキスト, 114-132. (<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/20/chapter6.pdf>, 2024.3.8閲覧)
- 加藤輝之, 2016: メソ気象の理解から大雨の予測について～線状降水帯発生条件の再考察～, 平成27年度予報技術研修テキスト, 42-60. (<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/21/chapter2.pdf>, 2024.3.8閲覧)
- 加藤輝之, 2017: 図解説 中小規模気象学, 気象庁, 316pp. (https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownexpert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf, 2024.3.8閲覧)
- 加藤輝之, 2022: アメダス3時間積算降水量でみた集中豪雨事例発生頻度の過去45年間の経年変化, 天気, 69, 247-252.
- 加藤輝之, 2022: 集中豪雨と線状降水帯, 朝倉書店, 168pp.

気象研究所報道発表資料, 2014: 平成26年 8 月 20日の広島市での大雨の発生要因～線状降水帯の停滞と豊後水道での水蒸気の蓄積～. (https://www.mri-jma.go.jp/Topics/H26/260909/Press_140820hiroshima_heavyrainfall.pdf, 2024.3.8閲覧)

京都府砂防協会, 2004: 京都府の昭和28年災害, 京

都府砂防協会, 192pp.

津口裕茂, 2016: 線状降水帯, 天気, 63, 727-729.

津口裕茂, 加藤輝之, 2014: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析, 天気, 61, 455-469.

吉崎正憲・加藤輝之, 2007: 豪雨・豪雪の気象学, 朝倉書店, 187pp.