

線状降水帯

津口 裕 茂*

1. はじめに

日本では、集中豪雨発生時に、気象レーダー画像や解析雨量分布に線状の降水域がしばしばみられる。このようなことは以前から指摘されており（小倉 1991 ; 吉崎・加藤 2007）、事例解析的な研究は数多くなされてきたが、これまであまり統計的に調べられてはこなかった。津口・加藤（2014）は、1995～2009年の4～11月の期間を対象として、解析雨量データを用いて集中豪雨事例を客観的に抽出するとともに、降水域の形状についての統計解析を行った。その結果、台風による直接的な事例を除くもののうちの約3分の2（261事例中の168事例）で、線状の降水域が確認された。

集中豪雨発生時によくみられる線状の降水域は、その見た目の特徴から、最近では“線状降水帯”と呼ばれている。甚大な災害が発生した近年のいくつかの集中豪雨（2014年8月の広島県の大雨、2013年8月の秋田・岩手県の大雨、平成24年7月九州北部豪雨など）も、線状降水帯によって引き起こされたことが指摘されている。

集中豪雨による災害を少しでも軽減し防ぐには、それらの正確な監視・予測が必須である。そのためには、集中豪雨をもたらすことが多い線状降水帯を正しく理解する必要がある。つまり、線状降水帯の理解は、気象学のみならず防災の観点からも非常に重要な課題である。

2. 線状降水帯の定義

現時点では、線状降水帯に厳密な定義は存在してい

ない。線状降水帯という言葉は、2014年8月の広島県での大雨以降、頻繁に使われるようになったようである。このこともあり、多くの人たちは、線状降水帯という言葉から、「線状の降水域が数時間にわたってほぼ同じ場所に停滞することで、大雨をもたらすもの」を想像すると思われる。

事例によって多種多様であり、例外も数多く存在するが、加藤（2015）では、線状降水帯を「大きさは、幅20～50 km、長さ50～200 kmであり、数時間ほぼ同じ場所にとどまるもの」としている。これは、Orlanski（1975）の分類に従うと、メソ β スケールの時空間スケールに当てはまる。

線状降水帯の実体は、複数の積乱雲の集合体（メソ対流系的一种）である。事例によっては、線状降水帯が階層構造（線状降水帯-積乱雲群-積乱雲）を持つこともある（Kato 2006）。小倉（1997）によると、メソ対流系は団塊状と線状に分類され、さらに線状のメソ対流系は移動速度の違いによってスコールライン型（急行型）と降雨バンド型（鈍行型）に分けることもできる。線状降水帯のイメージが前記のものであれば、その多くは降雨バンド型に当てはまるように思われる。しかし、スコールライン型と降雨バンド型の区別は明確に定義されたものではないため、両者を区別することなく線状降水帯と呼ぶことも、あながち間違いとは言えない。

3. 線状降水帯の形態

線状降水帯は、その名が示すとおり、複数の積乱雲が線状に並ぶ形態をしている。さらに詳細な形態については、着目点の違いなどによって、これまでにさまざまなものが提案されている。

古くは、Bluestein and Jain（1985）が、米国中西部で観測されたスコールラインの形成過程に着目し、

* Hiroshige TSUGUTI, 気象研究所予報研究部。

htsuguti@mri-jma.go.jp

© 2016 日本気象学会

Broken-Line (破線型), Back-Building (バックビルディング型), Broken-Areal (破面型), Embedded-Areal (埋め込み型) の4種類の形態を示した。この形態分類は長らく用いられてきたようだが、その後、新たな形態も提案されている。Parker and Johnson (2000) は、スコールラインの層状雲の広がり方に着目し、Trailing-Stratiform (TS型), Leading-Stratiform (LS型), Parallel-Stratiform (PS型) の3種類の形態を提案した。また、Schumacher and Johnson (2005) は、特に停滞性の強いメソ対流系の形成過程に着目し、Training-Line/Adjoining-Stratiform (TL/AS型) と Backbuilding/Quasi-Stationary (BB型) の2種類の形態を提案している。これらの詳細については、原論文を参照してもらいたい。

一方、日本国内においては、瀬古 (2010) が線状降水帯の形態についての系統的な研究を行っており、内部構造等の違いから、スコールライン型、バックビルディング型、バックアンドサイドビルディング型を提案している。

以上のように、線状降水帯にはいろいろな形態が存在するが、明確な分類が難しい場合も数多くある。また、日本で観測される線状降水帯は、米国で観測されるものよりも時空間スケールが一桁以上小さい事例もあり、両者を同列に扱うことは厳密には正しくないのかもしれない。

4. 線状降水帯の発生環境場

線状降水帯については、これまでに観測データや数値モデルを用いた数多くの研究が行われてきており、その形態だけでなく、発生メカニズム・気流構造・発生環境場などにも特徴があることがわかってきている。紙数の関係上、ここでは、線状降水帯の発生環境場についてのみ述べる。

線状降水帯の発生環境場については、これまでの数多くの事例解析的な研究 (たとえば、Kato and Goda 2001; 瀬古 2010; Kato 2006; Schumacher and Johnson 2008; Peters and Schumacher 2015など) によって、以下のような発生要因が指摘されている。

- ①線状降水帯を形成する個々の積乱雲の源となる大量の暖かく湿った空気が、大気下層 (およそ高度 1 km 以下) に継続的に流入すること。
- ②大気下層の暖かく湿った空気を、自由対流高度 (LFC) まで持ち上げる強制力 (前線, 地形, 冷気

プール, 重力波など) が存在すること。

- ③大気の成層状態が不安定であること。具体的には、自由対流高度 (LFC) が低く、浮力が無くなる高度 (LNB) が高いことが好条件となる。
- ④個々の積乱雲が組織化するための適度な鉛直シアが存在すること。

ただ、上記研究の多くは、それぞれ個別の事例解析に基づいている。そのため、これらの発生要因の“普遍性”については、まだまだ議論の余地が残されている。

近年、気象レーダーや高層ゾンデ観測などのデータの蓄積に加え、品質の良い客観解析データが利用できるようになり、線状降水帯の発生環境場を統計的に解析することが可能となってきた。特に日本国内を対象とした研究としては、加藤 (2015, 2016) と Unuma and Takemi (2016a, b) があげられる。加藤 (2015) は、過去の多数の線状降水帯による豪雨事例を基に線状降水帯の形成に寄与する気象要素 (500 m 高度の水蒸気フラックス量, 500 m 高度から自由対流高度までの距離, 500 hPa の相対湿度, ストームに相対的なヘリシティ) を選定し、それらの気候学的な特徴を示した。また、それぞれの要素の閾値を設定して組み合わせることで、線状降水帯の発生を予測できる可能性を示した。また、加藤 (2016) は、気象要素として総観場の上昇流域と浮力が無くなる高度を加え、それぞれの要素の閾値を見直すことで、さらなる予測精度向上の可能性を示した。Unuma and Takemi (2016a, b) は、気象レーダーデータを用いて準停滞性の降水系およびゆっくりと移動する降水系を抽出し、それらを団塊状と線状に分類して比較した。その結果から、線状のものが沿岸部に形成されやすいことや、団塊状と線状との間で、対流有効位置エネルギー (CAPE) と大気下層の鉛直シアに有意な差があることを示した。

以上のように、線状降水帯の発生環境場については、事例解析や統計解析などのさまざまなアプローチによる研究が試みられており、その理解は着実に進んできている。

5. おわりに

最近では、マスコミが集中豪雨の原因を説明する際に線状降水帯という言葉を使用することが増えてきており、一般社会にも広く知れわたってきているように思われる。先に述べたように、大きな災害を引き起こ

す集中豪雨は線状降水帯によってもたらされることが多いことから、線状降水帯という用語の浸透は一般市民の防災意識の向上に繋がるのが期待できる。

ただし、線状降水帯という言葉はあくまでも現象の一側面をあらわしているに過ぎず、集中豪雨の発生原因を十分に説明していることにはならない。研究者の立場としては、単にキーワードで現象を表すことに満足するのではなく、その発生・発達・衰弱のメカニズムをきちんと整理・理解し、科学的な知見を探求し続けることが重要である。

謝 辞

本文の作成にあたり、加藤輝之さん・瀬古 弘さんをはじめとする気象研究所のみなさん、鶴沼 昂さん(津地方気象台)には、有益なご意見・コメントを多数いただきました。また、担当編集委員の藤部文昭さんには、本文の執筆の機会を与えていただきました。以上の方々に、深く感謝します。

参 考 文 献

- Bluestein, H. B. and M. H. Jain, 1985: Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 1711-1732.
- Kato, T., 2006: Structure of the band-shaped precipitation system inducing the heavy rainfall observed over northern Kyushu, Japan on 29 June 1999. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 129-153.
- 加藤輝之, 2015: 線状降水帯発生要因としての鉛直シア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. <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/20/chapter6.pdf> (2016年7月14日閲覧)
- 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. <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/21/chapter2.pdf> (2016年7月14日閲覧)
- Kato, T. and H. Goda, 2001: Formation and maintenance processes of a stationary band-shaped heavy rainfall observed in Niigata on 4 August 1998. *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 899-924.
- 小倉義光, 1991: 集中豪雨の解析とメカニズム。天気, **38**, 276-288.
- 小倉義光, 1997: メソ気象の基礎理論。東京大学出版会, 215pp.
- Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **56**, 527-530.
- Parker, M. D. and R. H. Johnson, 2000: Organizational modes of midlatitude mesoscale convective systems. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3413-3436.
- Peters, J. M. and R. S. Schumacher, 2015: Mechanisms for organization and echo training in a flash-flood-producing mesoscale convective system. *Mon. Wea. Rev.*, **143**, 1058-1085.
- Schumacher, R. S. and R. H. Johnson, 2005: Organization and environmental properties of extreme-rain-producing mesoscale convective systems. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 961-976.
- Schumacher, R. S. and R. H. Johnson, 2008: Mesoscale processes contributing to extreme rainfall in a mid-latitude warm-season flash flood. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 3964-3986.
- 瀬古 弘, 2010: 中緯度のメソβスケール線状降水系の形態と維持機構に関する研究。気象庁研究時報, **62**, 1-74.
- 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.
- Unuma, T. and T. Takemi, 2016a: Characteristics and environmental conditions of quasi-stationary convective clusters during the warm season in Japan. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **142**, 1232-1249.
- Unuma, T. and T. Takemi, 2016b: A role of environmental shear on the organization mode of quasi-stationary convective clusters during the warm season in Japan. *SOLA*, **12**, 111-115.
- 吉崎正憲, 加藤輝之, 2007: 豪雨・豪雪の気象学。朝倉書店, 187pp.