

メカニズム解明に向けた線状対流系発生環境場の統合的物理解析

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○福田 果奈
 京都大学防災研究所 正会員 仲 ゆかり
 京都大学防災研究所 正会員 中北 英一

1. 研究背景と目的

近年、日本の梅雨期において線状のメソ対流系(以下、線状対流系)が毎年のように発生し、その被害は年々甚大なものとなっている。線状対流系とは、次々と発生する積乱雲が列を成して組織化した積乱雲群が、数時間にわたってほぼ同じ場所に停滞することで作り出される、線状に伸びた強い降水を引き起こす降水システムを指す。また、線状対流系には、様々な時空間スケールが存在する。小坂田ら¹⁾によると、図1(a)のような、前線の位置と強雨域が概ね一致する前線付随型のAタイプと、図1(b)のような、前線から南へ100km以上離れたところに発生し、局所的で空間スケールの小さい孤立局所型のBタイプに分類できる。ただし、線状対流系の発生に必要な水蒸気量や大気場の状態といったメカニズムの詳細は明らかになっていない。線状対流系に起因する大災害が年々増加していることから、現象そのもののメカニズムの解明は必要不可欠ある。また、災害の特徴の違いをもたらしことから、現象の時空間スケールの違いを考慮することも重要である。

そこで、本研究では、時空間スケールに基づいた観点から、線状対流系過去事例群の発生・発達メカニズム解明に向けた環境場の解析を行い、理解を深めることを目的とする。

2. 線状対流系過去事例の抽出・分類及びその結果

環境場の解析に向けて、気象庁の解析雨量を用いて2006年から2020年の6月から8月に起こった事例の抽出を行った。辻本ら²⁾の楕円近似の手法を参考に楕円の形状特性を定量化し、1時間ごとに前3時間積算降水量に対して、表1で示す条件で楕円近似を行い、楕円状の雨域を全て抽出した。

次に、時空間スケールに基づいて事例の分類を行った。地表面水蒸気フラックスの収束域、850hPa面における相当温位の等値線の密領域及び過去の地上天気図

上の前線の位置から、各事例について梅雨前線の収束位置を決定した。その後、前線位置と強雨域との位置関係から、広範囲の降雨かつ前線付近で発生するAタイプと、局所的な降雨かつ前線から離れて発生するBタイプに分類した。ただし、前線性でないものや孤立した線状対流系でない事例については、目視で確認し、除外した。

図2で、各事例の抽出開始時刻における楕円状の雨域をプロットした地図を示す。Aタイプは全国的に発生しているのに対し、Bタイプは主に太平洋側の限られた地域で発生しているということがわかる。

3. 線状対流系をもたらし環境場の解析

まず、線状対流系の発生環境の鉛直構造を調べるために、水蒸気混合比と相当温位の鉛直プロファイルを作成した。水蒸気混合比の鉛直プロファイルから、Aタイプは中層までより湿潤であるのに対し、Bタイプは下層に水蒸気が溜まった状態であることが示された。また、相当温位の鉛直プロファイルからは、Bタイプでより強い対流不安定場であることが示された。

次に、環境場指標の一種であるCAPE(Convective Available Potential Energy)とBRN(Bulk Richardson Number)を用いた解析を行った。CAPEは大気的不安定さを表す。BRNはCAPEと風の鉛直シアの比、すなわち浮力と乱流の比を示し、線状対流系において約32という大きさを持つことが知られている³⁾。CAPEとBRNのそれぞれの空間分布図をMSM(メソ数値予報モデル)より作成し、各事例の抽出開始時刻における線状対流系の発生位置側に着目して、CAPEとBRNの大きさを目視にて確認した。そして、CAPEを5段階(順に、“分類1(750J/kg以下)”, “分類2(750–1250J/kg)”, “分類3(1250–1750J/kg)”, “分類4(1750–2250J/kg)”, “分類5(2250J/kg以上)”), BRNは3段階(“○(ほぼ32のもの)”, “△(32前後かつ“×”には分類できないも

キーワード 線状対流系, 時空間スケール, CAPE, BRN, 自己組織性

連絡先 〒661-0011 京都府宇治市五ヶ庄防災研究所中北研究室 TEL 0774-38-4264

の)”, “× (明らかに 32 ではないもの)” に分けて整理し、表 2 のようにタイプ別に相対度数で表した。表 2 から、その結果、B タイプでより CAPE の値が大きく、BRN の値が 32 に近いことがわかった。また、B タイプにおいて、CAPE が “分類 3” 相当の 1500J/kg 前後かつ BRN の値が “○” に相当する 32 程度での発生が顕著であることから、B タイプの発生環境場が限定的であるということが示唆される。

その後、各タイプにおけるホドグラフを作成した。その結果、B タイプで高度上昇に伴う風向の変化がより大きくなることが示された。このことから、上昇流と下降流がぶつかりにくい鉛直構造となるため、B タイプでより、積乱雲が繰り返し発生・発達しやすいと考えられる。

4. 結論と今後の課題

以上の解析により、時空間スケールの違いに応じて、線状対流系の発生位置や環境場に違いが生じることが示された。また、本研究から、A タイプは梅雨前線に伴う大規模な収束によって限定的な環境場でなくても発生し、一方で B タイプは発達における自己組織性が強く、最初の積乱雲発生のために、限定的な環境場であることが必要であることが示唆された。

発表では、2005 年以前の事例も扱う。また、前線等の線状対流系よりスケールの大きい現象が与える影響や、地形からの影響を考慮した、より定量的な解析を進めていくことを今後の課題とする。

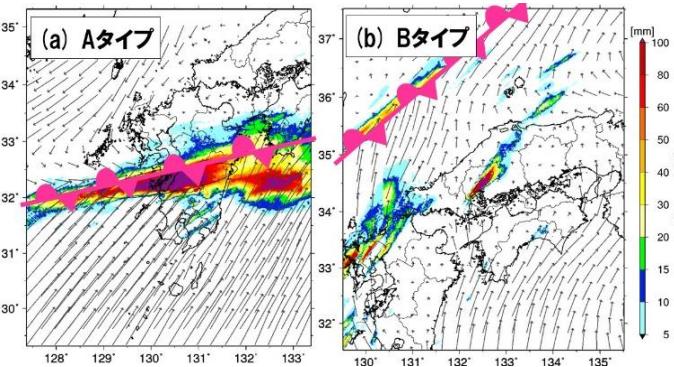


図 1 (a) 令和 2 年 7 月豪雨と (b) 平成 26 年 8 月豪雨の解析雨量での前 3 時間積算降水量(解析雨量). 矢印は地表面水蒸気フラックス(MSM), 桃色実線は地表面水蒸気フラックスの収束域から推定される前線の位置.

表 1 楕円近似での雨域及び楕円の抽出基準

楕円近似のための雨域の条件	楕円の抽出基準
・ 80mm/3hourより大きい領域を抽出	・ 200km<雨域<12,500km
・ 100mm/3hourより大きいメッシュが領域内に存在	・ 楕円長軸>35km
	・ 軸比>2.5

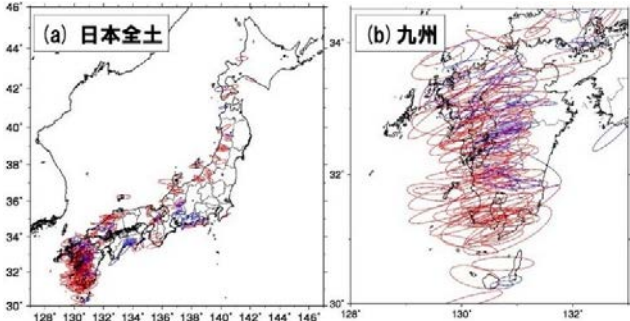


図 2 各事例における抽出開始時刻での (a) 日本全土, (b) 九州地方への楕円のプロット結果. 赤は A タイプ, 青は B タイプを示す.

表 2 各事例の抽出開始時刻での (上) A タイプ, (下) B タイプの CAPE と BRN の相対度数 (実線 : 0.04 毎の等値線, x 軸方向 : CAPE, y 軸方向 : BRN)

A	分類1	分類2	分類3	分類4	分類5	計
○	0.046	0.057	0.149	0.046	0	0.314
△	0.046	0.046	0.046	0.017	0	0.155
×	0.293	0.167	0.069	0.011	0.006	0.546
計	0.385	0.270	0.264	0.075	0.006	1
B	分類1	分類2	分類3	分類4	分類5	計
○	0.015	0.015	0.235	0.088	0	0.353
△	0.029	0.059	0.044	0.029	0	0.162
×	0.221	0.147	0.118	0	0	0.485
計	0.265	0.221	0.397	0.118	0	1

参考文献

1) 小坂田ゆかり, 中村葵, 中北英一 : 梅雨期集中豪雨の時空間特性を考慮した強雨継続時間と積算雨量の将来変化の統計分析, 土木学会論文集 B1(水工学), 76(2), I_7-I_12, 2020.

2) 辻本浩史, 増田有俊, 真中朋久 : 現業レーダデータを用いた土砂災害事例における線状降水帯の抽出, 砂防学会誌, 6, p. 49-55, 2017.

3) 中北英一, 矢神卓也, 池淵周一 : 1998 那須集中豪雨の生起・伝播特性, 水工学論文集, 第 44 巻, 2000 年 2 月.