

線状降水帯の形状に関する意識調査 —大学生を対象にして—

西山浩司¹・小原佑太²・朝位孝二³

A Survey on Shape Recognition of Linear Precipitation Bands Targeting University Students

Koji NISHIYAMA¹, Yuta OHARA² and Koji ASAI³

Abstract

This study conducted a questionnaire survey to investigate the range of shapes considered as linear precipitation bands by students enrolled at Kyushu University and Yamaguchi University, using the aspect ratio of heavy rainfall areas. The results showed that approximately 80% of the students considered heavy rainfall areas with an aspect ratio of 4.5 or higher to be linear precipitation bands. This indicates that the students tend to identify more elongated heavy rainfall shapes as linear precipitation bands compared to the shapes (aspect ratio of 2.5 or higher) defined by the Japan Meteorological Agency. Finally, when comparing the results with the past occurrence ratio of heavy rainfall areas, it was found that the occurrence ratio of heavy rainfall areas with an aspect ratio of 4.5 or higher was only about 8% of the total.

キーワード：豪雨域，線状降水帯，軸比，アンケート調査

Key words: Heavy rainfall area, Linear precipitation band, Aspect ratio, Questionnaire survey

1. はじめに

日本列島は、暖候期になると西寄りの風に伴って暖湿空気が流入し、毎年のように豪雨災害に見舞われてきた。その要因として、同一地域で数時間、積乱雲の発生と風下への移動が繰り返され、積乱雲が線状に並ぶバックビルディング型の豪雨域¹⁾の出現が挙げられる。これまでも、熊本県球

磨川流域で深刻な災害を引き起こした令和2年7月豪雨^{2,3)}、広島市安佐北区・安佐南区の土石流災害で70名以上の犠牲者を出した2014年8月20日広島豪雨⁴⁾など、多くの事例で線状に組織化された豪雨域が観測されている。そのような豪雨域は線状降水帯⁵⁾と呼ばれ、現在、防災上重要な監視項目の一つとして位置付けられている。

¹ 九州大学大学院工学研究院
Faculty of Engineering, Kyushu University

² 九州大学大学院工学府
Graduate School of Engineering, Kyushu University

³ 山口大学大学院創成科学研究科
Graduate School of Science and Technology for innovation,
Yamaguchi University

本稿に対する討議は2025年11月末日まで受け付ける。

その認知度に目を向けると、2014年8月20日の広島豪雨以降、線状降水帯という用語が頻繁に使用されるようになり⁵⁾、2017年の流行語大賞にノミネートされるなど、世間一般に広く認知されてきた。実際、2021年の気象庁によるアンケート調査⁶⁾によると、線状降水帯について聞いたことがある割合は約83%で、その内の72.9%が「線状降水帯が発生しています」というフレーズに対して、危機感が高まる傾向を示した。また、同じ年に実施された、本間らによる線状降水帯に関するアンケート調査⁷⁾によると、線状降水帯の知識を正しく理解する人は、そうでない人に比べて、線状降水帯の危険性を強く認識する傾向を持つことが示された。

以上のように、線状降水帯の認知が進み、その危険性についても人々の意識に浸透しつつある中で、気象庁は、2021年6月以降、災害を引き起こす恐れがある線状降水帯の発生を知らせ、その領域を雨雲レーダーの画像上に楕円で示す「顕著な大雨に関する気象情報」の運用を始めた⁸⁾。また、2022年6月以降、半日程度前から線状降水帯の発生可能性を呼びかける「線状降水帯予測」の運用も始まった⁸⁾。

今後も線状降水帯と関連付けた気象情報が進展し、その重要性が高まっていくことが期待されるが、それと連動するように、豪雨を引き起こす線状降水帯の特徴を一般住民に周知することや、地域の地理特性に合わせて、線状降水帯に対する災害対応力を向上させることが求められる。そのためには、一般住民を対象に、市町村の校区や行政区、学校などで線状降水帯を意識した教育機会を提供することやSNSを活用して教育内容を発信するなどの取り組みを推進することが望まれる。

その内容としては、線状降水帯の知識や関連する気象情報を教えるだけでなく、線状降水帯の具体的なイメージをわかりやすく、一般住民に伝えることが重要である。その際に役立つツールとして、気象庁の解析雨量と雨雲レーダーがあり、線状降水帯の特徴を視覚的に捉えることが可能である。それらの雨量プロダクトでは、災害の危険度が高まって発表される「顕著な大雨に関する気象

情報」とは異なり、その発表前から雨量が集中する様子をリアルタイムに確認することができる。解析雨量を活用すると、その積算雨量の分布を見ることで、どの領域に雨量が集中しているのかを明瞭に把握することができる。一方、雨雲レーダーを活用すると、その動画を再生することによって、線状に連なって停滞し、豪雨を引き起こしている線状降水帯の特徴を視覚的に把握することができる。さらに、その雨量プロダクトと気象庁キキクルを併用することで、雨量の集中に伴って災害の危険度がどこで高まっているのかを簡単に知ることができる。

以上のように、線状降水帯を意識した防災の取り組みを実施する場合、線状降水帯の危険性が世間一般に認知されている以上、教える側も教わる側も、解析雨量や雨雲レーダーに現れる豪雨域に対して、「線状」をイメージして線状降水帯か否かを判断すると考えられる。しかし、細長い豪雨域だけを線状降水帯と思う人もいれば、ある程度厚みを持った豪雨域を含めて線状降水帯と思う人もいるだろう。このように、線状降水帯の形状に関するイメージは、人によって異なることが十分考えられるが、その傾向を調べた研究は見当たらない。

一方、学術上の線状降水帯の定義について調べてみると、その定量的な定義は定まっていない。既出研究⁹⁻¹⁵⁾では、豪雨域の雨量（時間雨量、3時間雨量など）、その領域の面積と形状などに対して閾値を与えて線状降水帯を表現しているが、それらの閾値は研究によって異なっている。線状降水帯の重要な指標である豪雨域の形状（軸比：豪雨域の短軸の距離に対する長軸の距離の比）に着目すると、線状降水帯の軸比の下限値は2.4～3.0の範囲で設定され、気象庁の「顕著な大雨に関する気象情報」の運用では、軸比2.5以上の豪雨域を線状降水帯とみなしている⁸⁾。しかし、研究と運用で扱う線状降水帯の形状と、人々が線状降水帯と思う形状が一致するとは限らない。以上の点を考慮すると、人々が線状降水帯と思う形状をあらかじめ調査し、線状降水帯を意識した防災の取り組みに反映させることが望まれる。

そこで本研究では、九州大学と山口大学の授業を受講する大学生を対象に、豪雨域の形状を見て線状降水帯と思うかどうかを回答してもらうアンケート調査を実施した。その結果に基づき、大学生が線状降水帯と思う豪雨域の形状を調査し、その軸比の範囲が、現在の「顕著な大雨に関する気象情報」で線状降水帯とみなす豪雨域の範囲（軸比2.5以上）と比較して、どの程度の相違があるかについて明らかにする。なお、本研究は、限られた大学生を対象にしたアンケート調査なので、今後、年齢、性別、地域などの広い属性を考慮した大規模調査の実施に向けた予備的な取り組みと位置付ける。

2. 雨量分布の抽出と選択

2.1 雨量分布の抽出

線状降水帯は、強い西寄りの風（下層ジェット）を伴った暖湿空気が流入する暖候期特有の気象場で発生しやすい。全国的に見ると、その発生頻度は九州地方で顕著である^{11,14}。そこで本研究では、九州地方で発生した豪雨域を含む雨量分布を抽出して、アンケートの候補とする。

アンケート調査の計画段階で、受講生に雨雲レーダーの動画を見せることを考えたが、豪雨域の形状が時々刻々変化するため、その結果の解析は簡単ではない。その試みは研究の本質に迫るものなので当然実施すべきことであるが、その前段階として、一つの雨量分布に対して線状降水帯と

思うか否かを評価し、あらかじめ知見を得ておくことが望ましい。そこで本研究では、動画ではなく、気象庁の解析雨量で得られる静止画の時間雨量分布をアンケートに使用することにした。

雨量分布の抽出方法として、地上天気図、高層天気図を一つ一つ確認し、暖候期特有の気象状況か否かを判定して雨量分布を作成することは極めて煩雑な作業になる。そこで、パターン分類手法の一つである SOM (Self-Organizing map: 自己組織化マップ)¹⁶を使って、暖候期特有の気象場パターンを示す日時を絞り込み、その際の雨量分布を抽出した。ここでは、西山らの手法^{17,18}に従い、次の通り実施した。

最初に、九州地方を含む領域（経度126–133度、緯度29–36度）を設定し、43年間（1979–2021年）の暖候期（6–9月）を対象に、ECMWF 再解析データ（ERA-5）を使って、850 hPa の相当温位と風の分布からなる気象場を作成した。次に、SOM を使って、43年間の気象場を884パターンに分類し、50グループに分割した。最後に、各々のグループに対して実際の雨量分布と関連付けた。ここでは、格子点間隔が約1 km となった2006年以降2021年までの16年間の気象庁解析雨量（時間雨量）を使った。また、豪雨域を特徴付ける強い雨域を抽出するため、対象領域内で50 mm/h 以上の雨量が300格子点以上、最大雨量が70 mm/h 以上の格子点を含むことを条件に雨量分布を絞り込んだ。

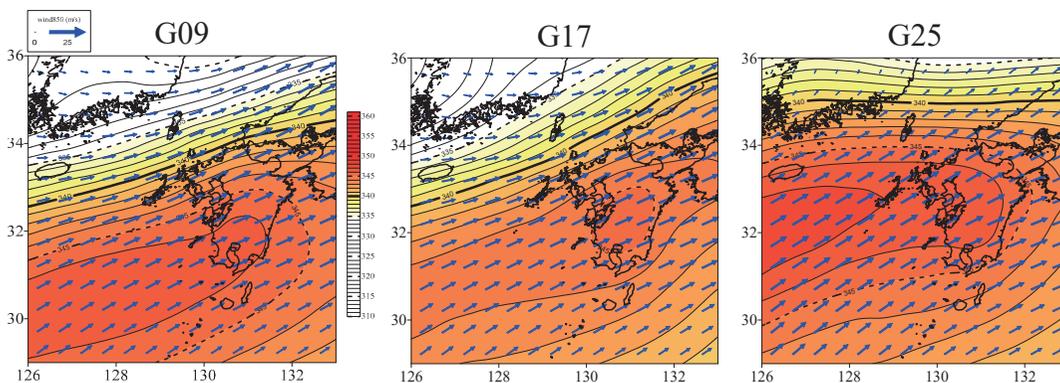


図1 2006～2021年の16年間に解析雨量50 mm/h 以上の雨量を記録した上位3位の気象場グループ（G09, 17, 25）。気象場は、850 hPa の相当温位（コンターライン）と風によって構成される。

その結果、全グループで666ケースの雨量分布が抽出された。さらに、2006～2021年の16年間で50 mm/h以上の雨量頻度が多かった上位3位までの気象場グループを対象を絞ると、全体の約38% (255ケース)の雨量分布が該当することがわ

かった。それらは、いずれも、西風～南西風を伴った暖湿空気が九州地方に流入する典型的な梅雨期の気象場(図1)を示し、甚大な被害を引き起こした気象庁の命名豪雨(令和2年7月豪雨, 平成30年7月豪雨, 平成24年7月九州北部豪雨,

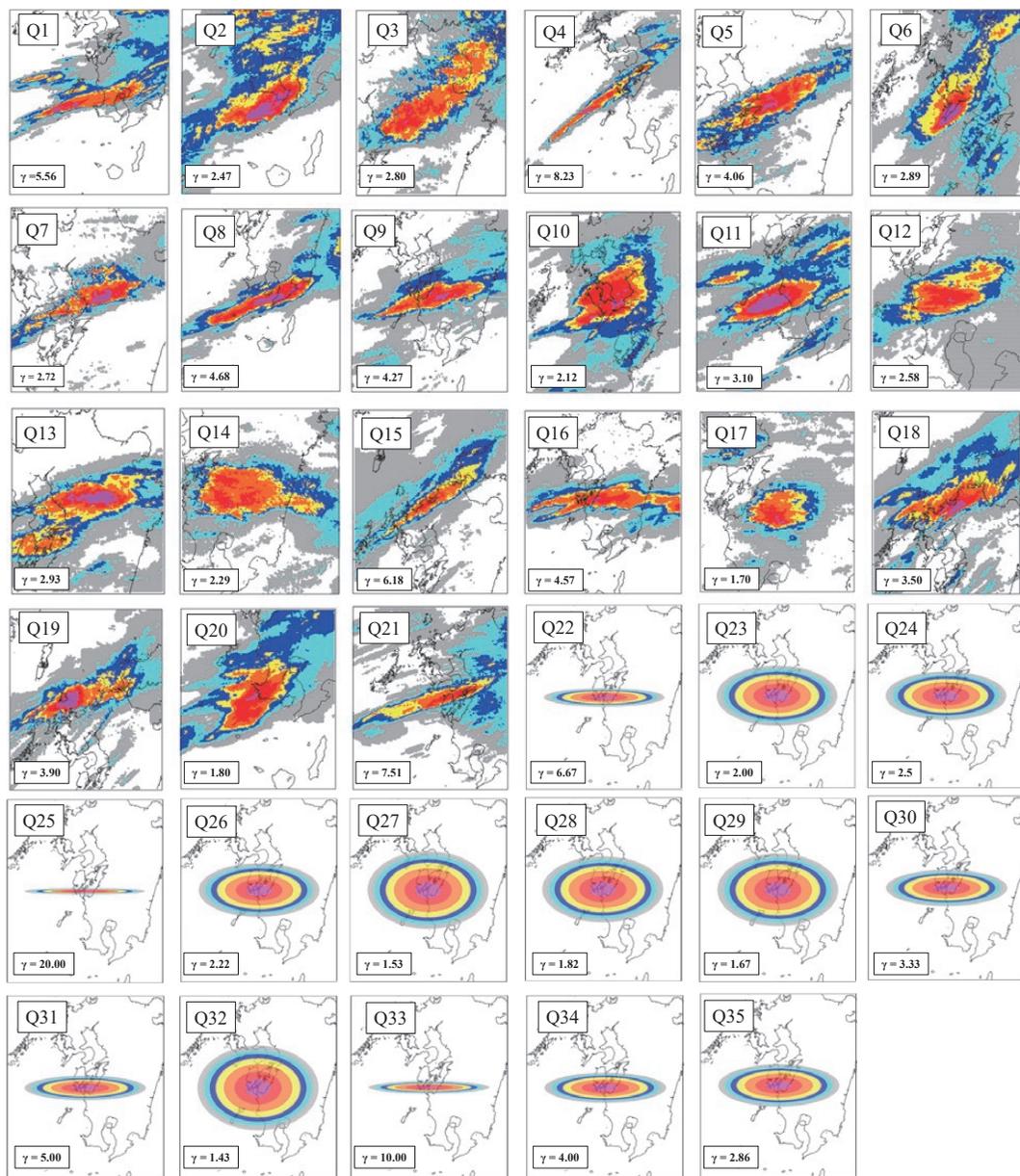


図2 アンケートに使用した35ケースの雨量分布(提示順)。Q1～21は実際の雨量分布, Q22～35は疑似的な楕円雨量分布を示す。左下の数字は軸比を示すが, アンケート時には表示していない。

平成21年7月中国・九州北部豪雨，平成18年7月豪雨)の雨量分布が61ケース含まれていることがわかった。そこで本研究では，その3つの気象場グループに含まれる255ケースの雨量分布をアンケート調査のための一次候補とした。

2.2 雨量分布の選択

実際の雨量分布は，強い雨域と弱い雨域が混在する。強い雨域は，積乱雲の発生と風下への移動に伴って組織化されて閉じた雨域になりやすい¹⁾。一方，弱い雨域は，組織化された強い雨域の周辺部で広範囲に拡がることもあり，閉じた雨域になりにくいと考えられる。本研究では，次章で述べるように，豪雨域の形状のパラメータである軸比を算出するため，閉じた雨域を抽出する必要がある。そこで，閉じた雨域になりやすい強い雨域を軸比算定のための豪雨域と定める。

ここでは，受講生が雨量を示す凡例の色合いに反応して線状降水帯か否かを判断すると考え，辻本らの研究¹⁵⁾を参考にして，気象庁の雨量プロダクト(雨雲レーダー，解析雨量)の凡例で，20 mm/h以上の雨量に対応する，黄色から紫色までの範囲を豪雨域と定義する。

アンケート調査では，どの形状の豪雨域を線状降水帯と思うかを評価するために，線状のものか

ら，丸みを帯びたものまで，厚みに応じた様々な形状の豪雨域を用意する必要がある。しかし，豪雨域を含む雨量分布は単純な構造をしておらず，同じ規模の豪雨域が複数存在するものや複数の豪雨域が重なって歪な形状をしているものが含まれていた。

そこで，豪雨域が複数存在していても，極端に歪ではない目立った豪雨域が一つ確認できるような雨量分布をアンケートの候補とした。そのような条件を満たす雨量分布は139ケースあった。さらに，甚大な災害を引き起こした豪雨域に対して，受講生がどのような判断を示すかを確認するため，気象庁の命名豪雨に関連する雨量分布をアンケートに含めることにした。以上の作業を通して，図2のQ1~21に示した21ケースの雨量分布(命名豪雨6ケース含む)をアンケートに採用した。

3. 豪雨域の軸比の算定

本研究では，豪雨域の短軸の距離に対する長軸の距離の比(軸比)で形状を表現し，Hirockawaらの研究¹¹⁾，辻本らの研究¹⁵⁾に基づいて，21ケースの雨量分布に含まれる豪雨域の軸比を算出した。

その手順は次の通りである。最初に，実際の雨量分布(図3(a))から，20 mm/h以上の範囲で閉じた豪雨域を抽出する。次に，豪雨域の位置座

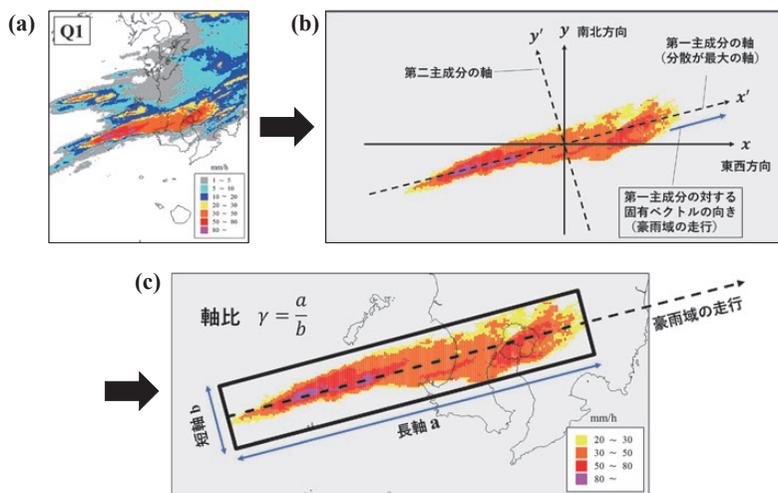


図3 豪雨域の軸比の算出手順。(a)雨量分布の作成，(b)20 mm/h以上の豪雨域の位置座標に対する主成分分析の適用 (c)第一主成分に対する長軸に平行な長方形で豪雨域を囲み，軸比を算出。

標（距離換算）に対して主成分分析を適用し¹⁵⁾、その分散が最大になる第一主成分の軸とそれに直交する第二主成分の軸を求める。前者と後者の軸が、各々、豪雨域の長軸と短軸に相当する（図3(b)）。最後に、長軸に平行な長方形を考え、その4つの辺が豪雨域と接するように囲み、長方形の形状を確定する¹¹⁾。以上の手順を通して長軸と短軸の距離が決まるので、豪雨域の軸比を算出することができる（図3(c)）。

4. アンケート調査

4.1 アンケート調査の計画

アンケート調査は、九州大学と山口大学の4つの授業を受講する大学生を対象に実施した（表1）。調査は個人が特定されないよう配慮し、無記名方式で実施した。また、アンケート調査時点では、受講生が線状降水帯の知識・知見をどの程度持っているかはわからないが、線状降水帯に関する授業の実施を通してアンケート結果に影響が出ることは避ける必要がある。

そこで、線状降水帯のテーマを含む表1の3つの授業（九州大学）では、そのテーマを扱う前にアンケート調査を実施した。なお、前年に受講した学生、3つの授業の内2つ以上重複して受講した学生はいなかった。一方、山口大学の「港湾工学」の授業では線状降水帯について扱っていない。

4.2 アンケートに使う雨量分布の作成

アンケート調査では、2章で採用した21ケースの実際の雨量分布だけでなく、疑似的に与えた楕円形の雨量分布（14ケース）も採用した（図2）。それは、受講生が「線状」と思う基本形状を評価するためである。すなわち、楕円形は対称形状で軸比のみで表現できるので、受講生は単純に形状

が細いか厚いかといった感覚で線状降水帯か否かを判断すると考えた。

また、受講生が少ない中で豪雨域の形状に意識を向けてもらうために、アンケートに使う雨量分布の背景の地図には、凡例の雨量値とスケールは入れず、海岸線のみとした。雨量分布の提示順に関しては、軸比の大きさの順番ではなく、実際の雨量分布と疑似的な雨量分布の各々に対して、予めランダムに並び替えた順番で提示することにした（図2）。その理由は、軸比の順番で雨量分布を提示すると、線状降水帯の軸比の閾値を決めて回答する可能性があると考えたためである。

4.3 アンケート調査の実施

アンケート調査は、表1に示す通り、2022年11～12月、九州大学と山口大学の4つの授業を受講した学生（243人）に対して実施された。アンケート調査では、各授業で35ケースの雨量分布を図2の順番でスクリーンに映し出し、線状降水帯と「①思う」「②思わない」「③どちらとも言えない」のいずれかを回答する形式で進めた。

回答結果を整理する際には、実際の雨量分布、または、楕円雨量分布に対して、同一の番号だけ回答した受講生と1つの回答以外同一の番号を回答した受講生は除外することにした。また、無回答と複数回答は、①～③以外の別のカテゴリとして扱った。以上を通して、実際の雨量分布と楕円雨量分布に対する各科目の有効回答人数は表1に示される。

4.4 線状降水帯の回答割合に対する信頼区間

標本調査では、母集団である大学生全般の特徴を反映するように無作為に大学生を選抜してアンケートに回答してもらうことが理想的である。し

表1 対象授業のアンケート実施日・受講者数・有効回答人数

大学	学部	授業名	開講時期	実施日	受講者数	有効回答人数 (実際の雨量分布)	有効回答人数 (楕円雨量分布)
九州大学	基幹教育(全学部)	水の科学	秋学期	2022年11月16日	73	71	67
九州大学	工学部土木工学科	土木地理学	秋学期	2022年11月17日	72	72	72
九州大学	基幹教育(全学部)	身近な地球環境の科学A	秋学期	2022年11月30日	42	41	40
山口大学	工学部社会建設工学科	港湾工学	後期	2022年12月14日	56	55	53

かし、そのような方法は、多くの大学生を対象にした大規模調査で採用されるため、簡単には実施できない。そこで本研究では、九州大学と山口大学の担当講義を履修した大学生に協力をお願いして、アンケート調査を実施した経緯がある。

したがって、本研究で得られた結果が大学生全般の回答傾向を反映するかどうかは現時点で判断できないが、ここでは、その点を仮定した上で、線状降水帯と思う割合の信頼区間を推定する。その方法として、サンプル数が小さい場合や0%と100%に近い割合を示す場合に有効とされるAgresti-Coull法¹⁹⁾を採用する。その信頼区間は、有意水準99%の下で、サンプル数と割合を使って得られる。

5. 結果

5.1 豪雨域の軸比に対する回答傾向

線状降水帯と思う割合は、図4(a)に示すように、楕円雨量分布で、軸比とともに増加し、軸比4.0を超えると、概ね80%に達することがわかった。また、思わない割合は思う割合と逆の傾向を示し、どちらとも言えないと回答した割合は、思うと思わない割合に対する曲線が交差する付近の軸比の範囲(2.5~2.8)にピークが存在する。

その回答傾向は、実際の雨量分布でも同様の傾

向を示すが、回答割合の変動が大きいことが特徴である(図4(b))。また、80%程度の受講生が線状降水帯と思う軸比の範囲は4.5以上であり、軸比2.5~4.5の範囲ではその判断が分かれることがわかった。そして、気象庁の「顕著な大雨に関する気象情報」で線状降水帯とみなす軸比の下限値2.5付近で見ると、その割合は低く、軸比2.47の豪雨域に対しては28.9%の受講生しか線状降水帯と思わないことがわかった(図4(b))。

以上の結果は少ないサンプルから得られたものなので、図5に線状降水帯と思う割合の99%信頼区間を追加した。その信頼区間を見ると、軸比の全範囲で、楕円雨量分布の場合は10~17%、実際の雨量分布の場合は8~17%の幅を持つことが推定される。また、楕円雨量分布で軸比4.0以上、実際の雨量分布で軸比4.5以上になると、その信頼区間は、概ね70~90%の範囲に入ることがわかった。

5.2 線状降水帯の回答傾向に与える要因

図5(a)と図6に示すように、楕円雨量分布の場合、豪雨域の形状に対して、線状降水帯と思う割合は変動が殆どない滑らかな曲線で結ばれる。一方、図5(b)に示すように、軸比4.5未満の豪雨域を含む実際の雨量分布では、線状降水帯と思う

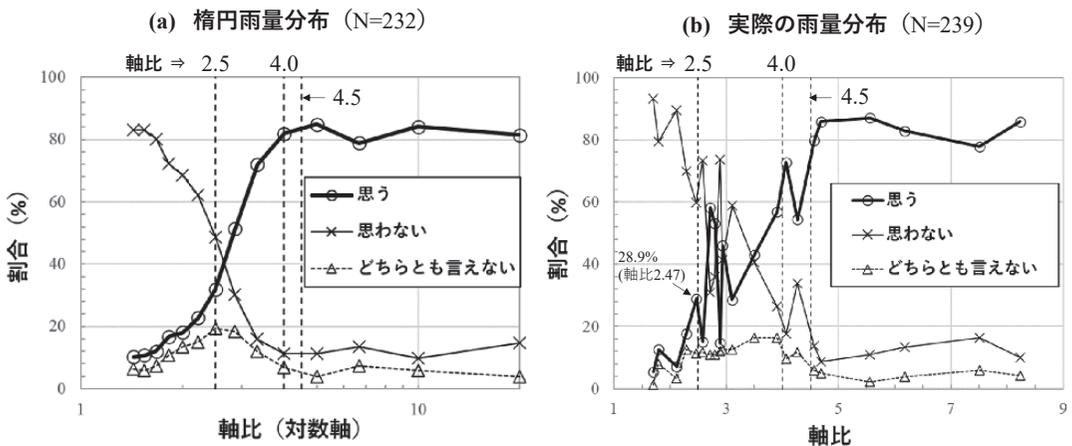


図4 豪雨域の軸比をパラメータとした、楕円雨量分布と実際の雨量分布に対する線状降水帯と思う、思わない、どちらとも言えないと回答した割合。軸比2.5は、「顕著な大雨に関する気象情報」で扱う線状降水帯の軸比の下限値を示す。

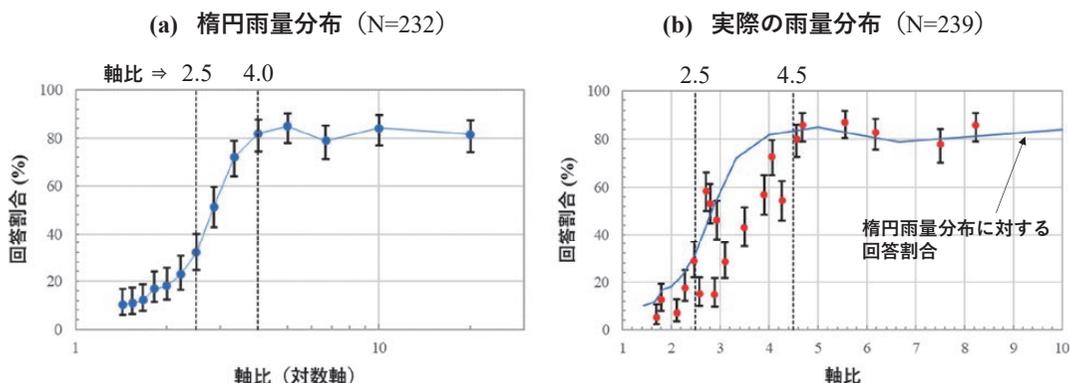


図5 楕円雨量分布(a)と実際の雨量分布(b)に対して、線状降水帯と思うと回答した割合。右図(b)には、左図(a)で示した楕円雨量分布に対する回答割合(青線)を付加している。各図のエラーバーは、Agresti-Coull法¹⁹⁾に基づく99%信頼区間を示す。

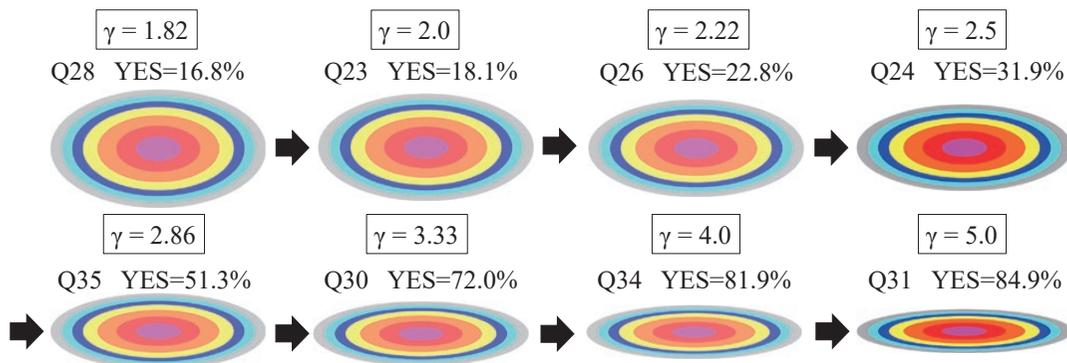


図6 楕円雨量分布の形状に対して、線状降水帯と思うと回答した割合。 γ は軸比を示す。

割合の変動が大きいだけでなく、楕円雨量分布(図5(b)の青線)と比べて、その割合が低くなる傾向を示す。その要因の一つとして、実際の豪雨域が、軸比で表現される単純な楕円雨量分布の形状と異なり、様々な特徴を持った形状を示すためと考えられる。実際、抽出した豪雨域の範囲(図7の黒枠)を見ると、2つの豪雨域が重なって一つになったケース(Q12, 13)や豪雨域の本体に小さな豪雨域が連結して軸比を大きく算出するケース(Q5, 6, 14, 18)と小さく算出するケース(Q7, 20)を含んでいた。その特徴から、受講生が黒枠で示した軸比の範囲の豪雨域を見て線状降水帯か否かを判断しているとは限らないと考えられる。

そこで、受講生が雨量分布の中で塊となっている豪雨域(図7の赤枠の破線)を見て線状降水帯か否かを判断していると仮定し、新たな豪雨域の軸比に基づいて図5(b)を作り直した結果を図8に示す。また、実際の雨量分布に対する線状降水帯の回答割合と軸比との関係(10ケース)が軸比補正前後でどの程度変化したかを示した結果が図9である。図中には、軸比4.0未満の楕円雨量分布に対する線状降水帯の回答割合の近似式が示されている。ここでは、受講生が補正後の豪雨域の塊(赤枠)を見て、線状降水帯か否かを判断するとした場合、軸比補正後の回答割合が楕円雨量分布に対する回答割合に近づくと考えられる。

その結果、軸比が0.6以上減少したQ5, 6, 14,

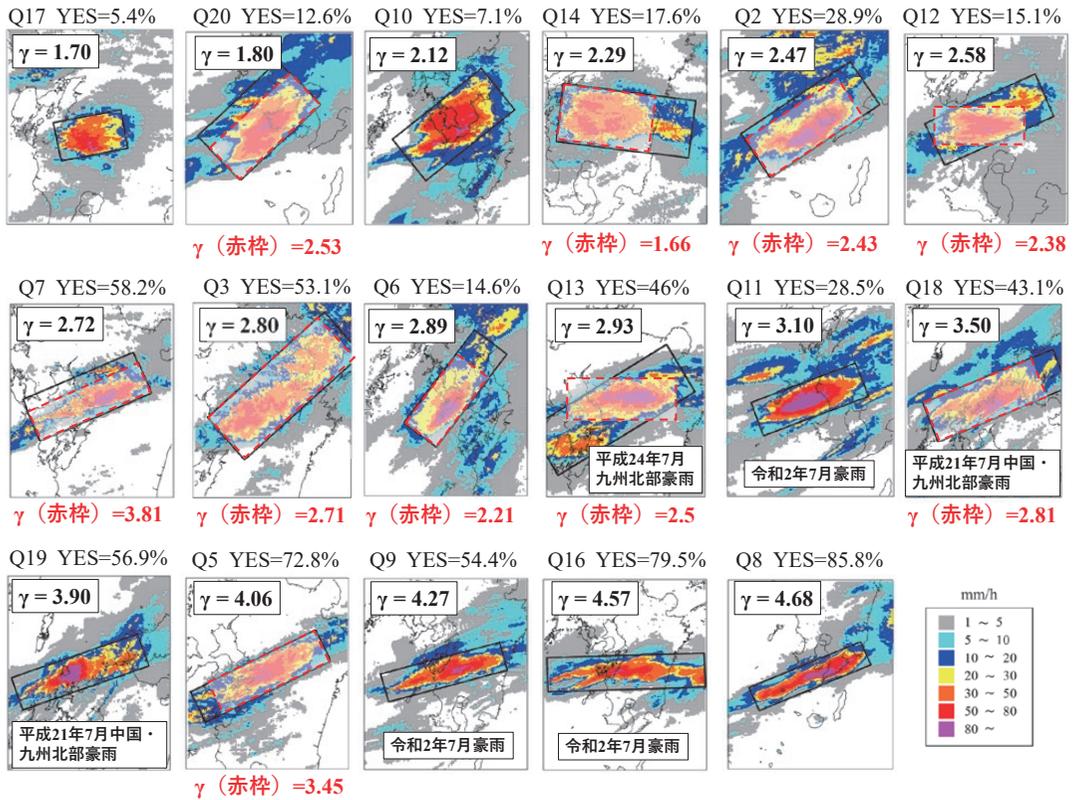


図7 豪雨域の軸比の小さい順番に並べた雨量分布(軸比5.0未満)。黒枠は20 mm/h以上の豪雨域と接する長方形の領域を示す。また、赤枠の領域は、受講生が感じ取ると仮定した豪雨域の主要な塊の部分を示し、その軸比(赤字)も示す。

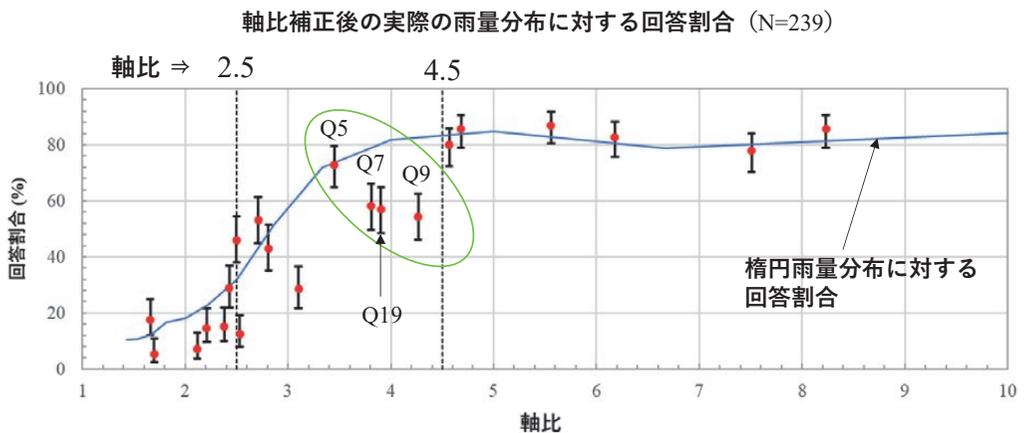


図8 補正後の軸比をパラメータとして得られた、実際の雨量分布に対して線状降水帯と思うと回答した割合。青実線は、図4(a)で示した楕円雨量分布に対して、線状降水帯と思うと回答した割合(N=232)を示す。エラーバーは、Agresti-Coull法¹⁹⁾に基づく99%信頼区間を示す。

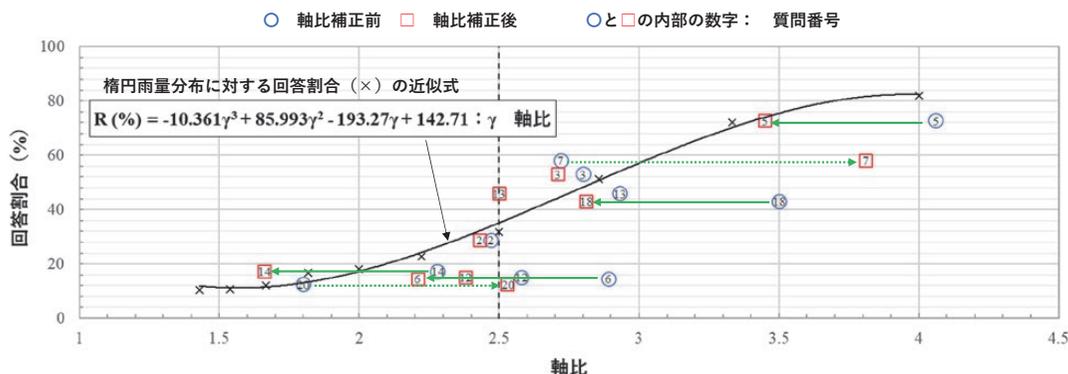


図9 軸比補正前後の実際の雨量分布に対して、線状降水帯と思うと回答した割合(青丸：軸比補正前、赤四角：軸比補正後)。黒実線は、楕円雨量分布に対して、線状降水帯と思うと回答した割合(軸比4以下)の近似曲線を示す。また、緑実線と緑点線は、各々、軸比が0.6以上減少、増加したケースを示す。

18では、近似式で示される回答割合との差が縮小した。一方、軸比が0.6以上増加したQ7、20では、その差が拡大した。以上の結果から、赤枠で示す豪雨域の塊を見て、線状降水帯か否かを判断している可能性はあるものの、それ以外の要因も影響していることが伺える。そこで、図8の緑の範囲内にあるQ5(赤枠)、Q7(赤枠)、Q9、Q19の雨量分布を比較してみる。

まず、軸比3.45の豪雨域を含む雨量分布Q5は72.8%の高い回答割合を示し、それ以外の3つの雨量分布(Q7、9、19)では、豪雨域の軸比が3.8以上にもかかわらず、回答割合が60%未満であることがわかる。次に、その4つの雨量分布を比較してみると、Q5とQ9で豪雨域周辺の弱い雨域の分布の違いが見られる(図7)。Q5の雨量分布では、豪雨域の長軸の方向に弱い雨域が広がっているのに対して、Q9の雨量分布では、弱い雨域が豪雨域の北東側に広く分布していることがわかる。このように、弱い雨域の分布の違いが回答割合の違いを反映していると考えられるが、Q5と(Q7、19)の比較では、その違いが判然としなかった。

以上の考察から、軸比に対する回答割合が変動する要因は、雨量分布が単純な構造をしていないことに起因すると考えられるが、現時点では事例が少ないため、今後、類似する豪雨域の形状の中から様々な周辺の弱い雨域のパターンを選んで、今回と同様の調査を実施することが望まれる。

5.3 各科目の線状降水帯の回答傾向

前節までは、すべての受講生を対象にした調査結果を示したが、この節では、各科目の受講生の間で線状降水帯の回答傾向がどの程度類似しているのかを調べる。図10(a)、(b)は各々、楕円雨量分布と実際の雨量分布に対して、線状降水帯と回答した割合を示す。赤、青、橙、黄緑で示した丸は、各科目の回答割合である。また、実際の雨量分布に対する回答割合を科目間で比較した散布図を図11(a)~(f)に示す。その結果、楕円雨量分布、実際の雨量分布とともに、どの科目でも、軸比に関係なく類似する回答傾向を示した。また、全ての組み合わせ(6組)の相関係数は、実際の雨量分布で0.93~0.98、図には示していないが、楕円雨量分布で0.97~0.99となり、高い相関を示すことがわかった。

一方、散布図を構成するデータ数が、楕円雨量分布で14ケース、実際の雨量分布で21ケースと少ないため、相関係数が統計的に有意であるかどうかを確認する必要がある。そこで、選択した2科目の回答割合に相関がないという帰無仮説に基づいて検定を行った。その結果、楕円雨量分布と実際の雨量分布に対する相関係数のp値は、すべての科目の組み合わせで0.01未満であった。したがって、有意水準0.01で帰無仮説は棄却され、任意に選んだ2つの科目間の回答割合に相関があると判断された。すなわち、独立した4つの科目の

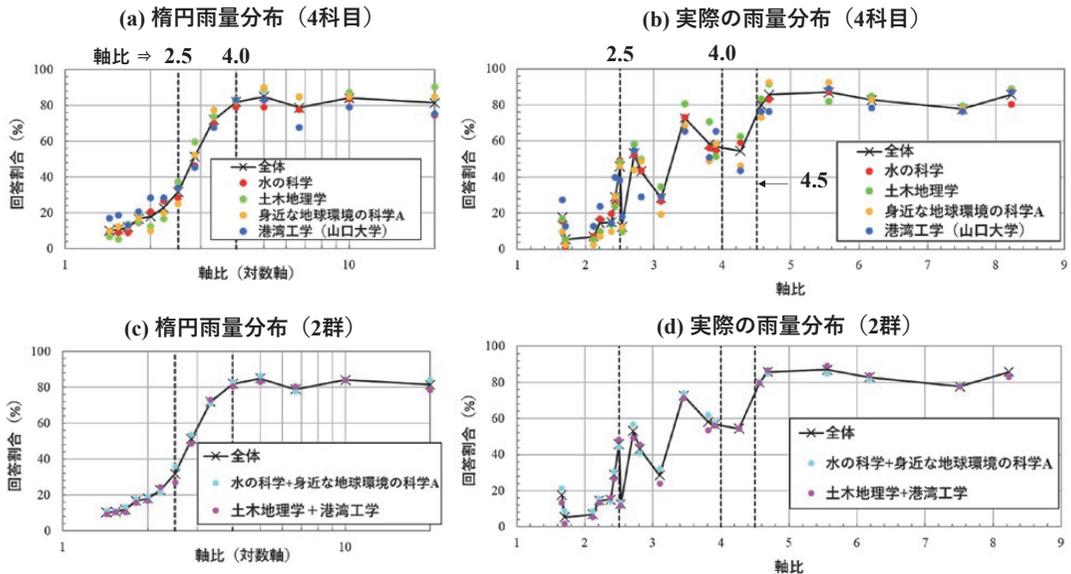


図10 楕円雨量分布，実際の雨量分布に対して，線状降水帯と思うと回答した割合（軸比補正後）。黒実線は全科目に対する回答割合を示す。(a)と(b)は4科目，(c)と(d)は2群(水の科学+身近な地球環境の科学A, 土木地理学+港湾工学)に対する回答割合である。

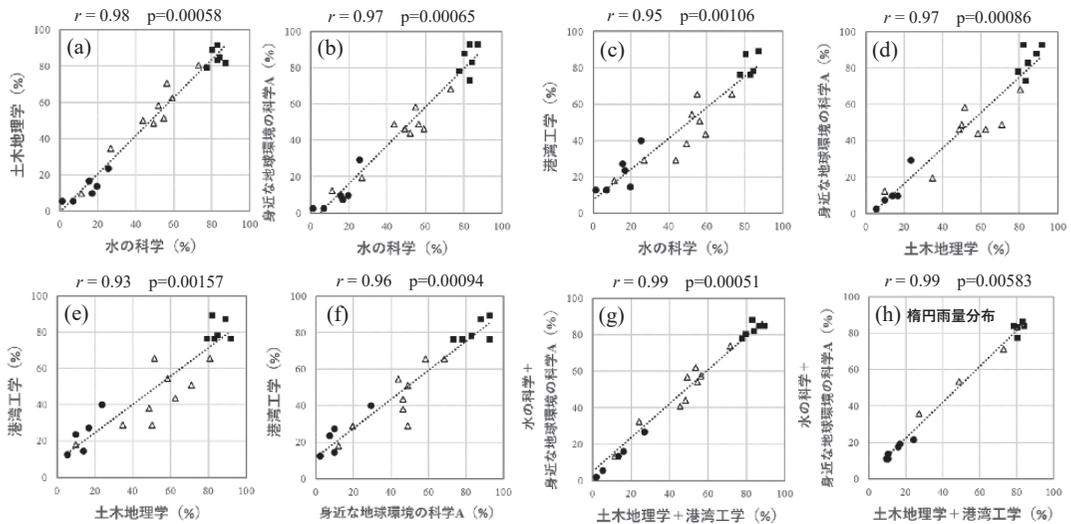


図11 (a)～(f)は，実際の雨量分布に対して，線状降水帯と思うと回答した割合（軸比補正後）の科目間の相関関係。(g)と(h)は各々，実際の雨量分布，楕円雨量分布に対して，(水の科学+身近な地球環境の科学A)と(土木地理学+港湾工学)の間の相関関係を示す。図中の●は軸比1.5～2.5，△は軸比2.5～4.5，■は軸比4.5以上の範囲(但し，(h)の軸比は4.0以上)を示す。図中のr，pは各々，相関係数とp値を示す。

受講生は類似した回答傾向を示すことがわかった。

最後に，受講生の専門性の違いによって線状降水帯の回答傾向に違いが出てくるかどうかを調べ

た。4つの科目の中で，水の科学と身近な地球環境の科学Aは，九州大学の全学部を対象にした基幹教育科目に位置付けられる。その受講生の所属

は、出席情報から、文経法41.0%、理工農38.5%、医歯薬11.1%、その他9.2%の割合を示し、理系・文系バランスよく構成していた。一方、土木地理学(九州大学)と港湾工学(山口大学)の受講生は、防災関連の研究・教育が主要なテーマの一つになっている工学部土木系学科所属の学生である。

以上に基づき、基幹教育科目と土木系科目の2群間で回答割合の相関関係を調べた結果、図10(c)、(d)に示されるように、楕円雨量分布と実際の雨量分布のいずれの場合も、2群の回答傾向が明らかに連動し、図11(h)、(g)の散布図からも、統計的に有意な相関関係($r=0.99$)を示すことがわかった。したがって、防災をテーマに学ぶ機会が多い土木系の受講生と多様な所属先からなる基幹教育科目の受講生との間で、豪雨域の形状に関係なく、回答傾向はほぼ一致することがわかった。

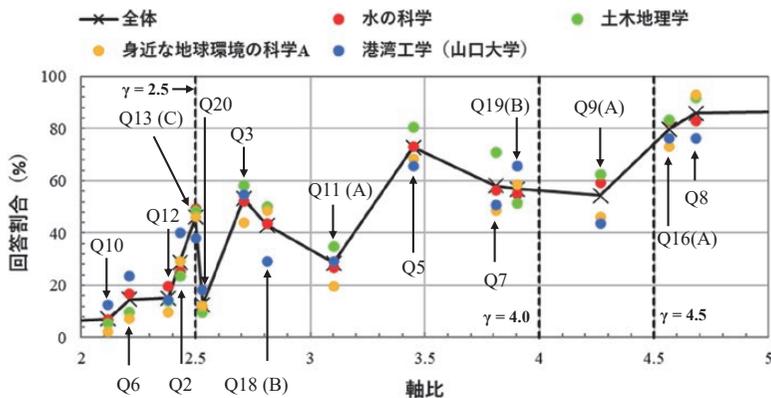
6. 考察

以上の結果から、受講生が気象庁の運用で扱う線状降水帯の形状よりも細長い形状の豪雨域を線状降水帯と思っていることがわかった。また、図12に示されるように、過去の災害事例と結びつけると、線状降水帯と思うか否かの判断が分かれる軸比2.5~4.5の範囲内に、災害を引き起こした命名豪雨事例が含まれていることがわかった。そこで、受講生が線状降水帯と回答すると考えられる

豪雨域が過去にどの程度出現したかについて調べる。ここでは、Hirockawaらの研究¹¹⁾と辻本らの研究¹⁵⁾に基づいて得られた、軸比に対する豪雨域の発生割合を表2に示す。

最初に、3つの豪雨事例を対象にした辻本らの研究¹⁵⁾によると、2014年8月20日広島豪雨では、線状降水帯と回答すると考えられる軸比5.0以上の豪雨域が45.2%含まれていた。一方、その割合は、平成24年7月九州北部豪雨(7月12日)では4.6%、平成25年8月秋田・岩手豪雨(8月9日)では0%であった。いずれの事例も、軸比3.0未満の豪雨域が全体の半分以上を占めていた。このように、事例によって、出現する豪雨域の軸比の特徴が異なっていることがわかる。

一方、日本全国で2009~2020年の暖候期(4~9月)の豪雨域を対象にしたHirockawaらの研究結果¹¹⁾によると、受講生の80%程度が線状降水帯と回答すると考えられる豪雨域(軸比4.5以上)の発生割合は、全国で出現した4965事例の豪雨域に対して、約8%に過ぎないことがわかった。それ以外は、約40%が軸比2.5~4.5、約52%が軸比2.5未満の豪雨域であった。前者は、線状降水帯か否かの判断が分かれる豪雨域で、後者は、「顕著な大雨に関する気象情報」の発表基準(軸比2.5以上)を満たさない豪雨域である。



- A: 令和2年7月豪雨
 Q9 (2020年7月4日8時)
 Q11 (2020年7月3日21時)
 Q16 (2020年7月4日2時)
- B: 平成21年7月中国・九州北部豪雨
 Q18 (2009年7月24日19時)
 Q19 (2009年7月24日17時)
- C: 平成24年7月九州北部豪雨
 Q13 (2012年7月12日6時)

図12 補正後の軸比2.0~5.0の豪雨域に対して線状降水帯と思うと回答した割合と気象庁の命名豪雨事例(A: 令和2年7月豪雨, B: 平成21年7月中国・九州北部豪雨, C: 平成24年7月九州北部豪雨)との関連性。

表2 既出研究に基づく、軸比に対する豪雨域の発生割合。表中の灰色部分は、Hirockawa らの研究結果¹¹⁾に対する軸比2.5以上の範囲を示す。

論文	豪雨域の抽出	対象	豪雨域の数	軸比⇒	1.0~	2.0~	2.5~	3.0~	3.5~	4.0~	4.5~	5.0~
					2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	
辻本ら(2017) ¹⁵⁾ 右記は、論文中の図-9から読み取った割合	気象庁合成レーダー降水強度20 mm/h以上の閉じた領域(300 km ² 以上)	2012年7月12日 平成24年7月九州北部豪雨	87	割合(%)⇒	9.2	46		40.2				4.6
		2014年8月20日 広島豪雨	31	割合(%)⇒	0	0		54.8				45.2
		2013年8月9日 平成25年8月秋田・岩手豪雨	65	割合(%)⇒	18.5	53.8		27.7				0
Hirockawa et al. (2020) ¹¹⁾ 右記は、論文中のFig.15から読み取った割合	1) 解析雨量80 mm/3h以上の閉じた領域(500 km ² 以上) 2) 領域内に解析雨量100 mm/3h以上の格子点を含む	2009~2018, 4~11月全国	4,965	割合(%)⇒	33	19	16	11	8	5	4	4

7. 結論

本研究では、九州大学と山口大学の4つの授業の受講生を対象に、線状降水帯の形状に関するアンケート調査を実施し、線状降水帯と思う割合と豪雨域の軸比との関連性を調べた。

その結果、受講生の80%程度が線状降水帯と思う軸比は4.5以上であることがわかった。それは、気象庁の「顕著な大雨に関する気象情報」の運用で扱う線状降水帯(軸比2.5以上)よりも細長い形状の豪雨域を受講生が線状降水帯と知っていることを示している。一方、軸比2.5~4.5の範囲では、雨量分布が単純な構造をしていないため、線状降水帯と回答した割合の変動が大きく、その判断が受講生の間で分かれることがわかった。以上示した線状降水帯の回答傾向は、豪雨域の形状や受講生の専門性に関係なく、独立した授業間でほぼ一致していることが明らかになった。

さらに、以上得られた知見を過去の豪雨域と災害事例と照らし合わせた結果、受講生の80%程度が線状降水帯と回答すると考えられる軸比4.5以上の豪雨域は、全国で過去に発生した豪雨域の約8%に過ぎないこと、また、線状降水帯と思うかどうかの判断が分かれる軸比2.5~4.5の範囲には、気象庁の命名豪雨と関わる災害事例が含まれていることがわかった。

以上のように、大学生が線状降水帯と思う軸比

の範囲と気象庁の運用で扱う線状降水帯の軸比の範囲が一致していないことがわかったが、今後は、本間らのアンケート調査⁷⁾と同様、年齢、性別、地域などの属性を考慮して、幅広くアンケート調査を実施し、一般の人々に対しても類似した傾向を示すのかを検証する必要がある。また、軸比の小さい、厚みを持った線状降水帯でも豪雨災害を引き起こした事実があることを考慮すると、気象庁の運用で扱う線状降水帯のイメージを一般の人々に定着させていくことが望ましい。そのための取り組みとして、例えば、軸比2.5以上の線状降水帯を対象に、厚みのあるものから、文字通り「線状」のものまで気象庁HPで公開し、過去の災害事例と結びつけて、線状降水帯に関わる防災のための基礎資料として役立てることが考えられる。

また、「顕著な大雨に関する気象情報」が発表される際には線状降水帯の発生が伝えられるが、既に警戒レベル4相当の災害危険度に達しているため、その前から確認できる雨雲レーダーと解析雨量の活用方法を防災教育等で教えることは有意義である。その際に懸念されることは、メディアが線状降水帯を強く意識させる形で災害の危険性を発信しているため、一般の人々の線状に見えるか否かの判断が災害の危険性の感じ方や判断に影響を与えていないか? という点である。実際、

強い雨域が線状に見えない場合でも、同じ地域に停滞すれば豪雨となり、災害につながる恐れがあるため、その点を今後検証し、雨雲レーダーと解析雨量を使った防災の取り組みに反映させることが必要である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (JP21K04275, JP23K00976)、並びに、内閣府の「研究開発と Society 5.0 との橋渡しプログラム (BRIDGE)」の対象施策「革新的な統合気象データを用いた洪水予測の高精度化」(国土交通省九州地方整備局委託, 研究代表者九州大学杉原裕司教授)の支援を受けて実施してきたものです。また、研究の実施にあたり、2022年度後期、九州大学の「土木地理学」「水の科学」「身近な地球環境の科学 A」と山口大学の「港湾工学」を受講した学生の皆様には、線状降水帯に関するアンケートに協力頂き、誠にありがとうございました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Bluestein, H. B., and M. H. Jain: Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 42, No.16, pp. 1711-1732, 1985.
- 2) 土木学会水工学委員会 令和2年7月九州豪雨災害調査団：令和2年7月九州豪雨災害調査団報告書, 335p, 2021.
- 3) Hirockawa, Y., Kato, T., Araki, K., and Mashiko, W.: Characteristics of an extreme rainfall event in Kyushu district, southwestern Japan in early July 2020. *SOLA*, Vol. 16, pp. 265-270, 2020.
- 4) 大谷修一・仲田直樹・石本歩・秋枝周子・風早範彦・西森靖高・中村剛・依岡幸広・立神達朗・岩田奉文・瀬古弘・横田祥：下層インフローに着目した大雨と環境場との関係に関するアンサンブル予報実験による解析-2014年8月19~20日に発生した広島県南部の大雨事例-, 天気, 66巻2号, pp. 141-160, 2019.
- 5) 加藤輝之：集中豪雨をもたらす線状降水帯～基礎研究が生み出した防災用語～, 第21回都市水害に関するシンポジウム, 7p, 2022.
- 6) 気象庁：令和3(2021)年度気象情報の利活用状況に関する調査報告, 205p, 2021.
- 7) 本間基寛・牛山素行：線状降水帯に関する情報に対する住民の受け止め方の調査, 災害情報, 日本災害情報学会誌, No. 21-1, pp. 35-45, 2023.
- 8) 気象庁 HP：線状降水帯に関する各種情報 https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/kisho_joho_senjokousuitai.html (2025年2月確認)
- 9) 津口裕茂・加藤輝之：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巻, 6号, pp. 455-469, 2014.
- 10) 野村康裕・神山嬢子・野呂智之：土砂災害警戒避難のための線状降水帯等の自動抽出システムの開発 (特集：大規模土砂災害への対応技術), 土木技術資料, 60巻, 12号, pp. 12-15, 2018.
- 11) Hirockawa, Y., Kato, T., Tsuguti, H., and Seino, N.: Identification and Classification of Heavy Rainfall Areas and their Characteristic Features in Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 98, No. 4, pp. 835-857, 2020.
- 12) Hirockawa, Y., and Kato, T.: Improvements of Procedures for Identifying and Classifying Heavy Rainfall Areas of Linear-Stationary Type, *SOLA*, Vol. 18, pp. 167-172, 2022.
- 13) Kato, T.: Quasi-stationary band-shaped precipitation systems, named "senjo-kousuitai", causing localized heavy rainfall in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 98, No. 3, pp. 485-509, 2020.
- 14) 仲ゆかり・福田果奈・中北英一：時空間特性を考慮した停滞前線性線状対流系の過去事例における発生・発達条件の統合的解析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 80, No. 16, 23-16006, 2024.
- 15) 辻本浩史・増田有俊・真中朋久：現業レーダー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, 特集：土砂災害警戒避難の課題と新たな方向性, 砂防学会誌, 69巻6号, pp. 49-55, 2017.
- 16) Kohonen, T.: *Self-Organizing Maps*, Springer Series in information Sciences, Vol. 30, 362pp, 1995.
- 17) 西山浩司・横田いずみ・広城吉成・朝位孝二：自己組織化マップに基づく広島県の豪雨災害を引き起こした気象場パターンの分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 75, No. 2, I_1201-I_1206, 2019.
- 18) 西山浩司・白水元・朝位孝二：自己組織化マップに基づく九州地方における豪雨の発生時間帯

の傾向に関する分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 77, No. 2, I_1135-I_1140, 2021.

Vol. 52, No. 2, pp. 119-126, 1998.

- 19) Agresti, A., and Coull, B. A.: Approximate is Better than “Exact” for Interval Estimation of Binomial Proportions, *The American Statistician*,

(投稿受理: 2024年10月11日
訂正稿受理: 2025年1月15日)

要 旨

本研究では、九州大学と山口大学の4つの授業の受講生を対象にして、線状降水帯の形状に関するアンケート調査を実施し、線状降水帯と思う割合と豪雨域の軸比との関連性を調べた。その結果、受講生の80%程度が線状降水帯と思う軸比は4.5以上であることがわかった。それは、気象庁の「顕著な大雨に関する気象情報」の運用で扱う線状降水帯(軸比2.5以上)よりも細長い形状の豪雨域を受講生が線状降水帯と思っていることを示している。その傾向は、豪雨域の形状や受講生の専門性に関係なく、独立した授業間ではほぼ一致していることも明らかになった。以上の知見に基づくと、受講生が線状降水帯と思う軸比4.5以上の豪雨域は、全国で過去に発生した豪雨域の約8%に過ぎないことがわかった。

以上の結果は大学生を対象に得られた知見なので、今後は、年齢、性別、地域などの属性を考慮して、幅広くアンケート調査を実施し、一般の人々に対しても類似した傾向を示すのかを検証する必要がある。また、軸比の小さい、厚みを持った線状降水帯でも豪雨災害を引き起こしてきた事例があることを考慮すると、気象庁の運用で扱う線状降水帯のイメージを一般の人々に定着させていくことが望ましい。