

令和6年6月12日
気象研究所

梅雨期九州の集中豪雨、明け方から朝に頻発、顕著な増加傾向

1976-2022 年のアメダスデータを用いて、集中豪雨発生数の年変動の要因と発生頻度の日変化特性を調査しました。

梅雨期（6-7 月）の九州での集中豪雨発生数の年変動は、九州周辺の気圧配置が影響する下層水蒸気の流入量との関連性が大きいことがわかりました。

集中豪雨発生頻度の日変化については、梅雨期九州では朝（7-9 時）にもっとも頻発し、明け方も含めた 4-9 時では 47 年間の集中豪雨の長期増加傾向が 7.5 倍（それ以外の時間帯では 2.3 倍）になっていることがわかりました。

1. 背景、調査方法

線状降水帯を含む集中豪雨の予測精度向上は防災面において喫緊の課題であり、特に、夜間から早朝に発生する集中豪雨に対しては事前避難の観点から、半日前、前日夕方での予測における精度向上が求められています。本研究では、加藤（2022）がアメダスの 3 時間降水量（P3H）130mm を閾値として行った集中豪雨の発生頻度における経年変化の研究を発展させ、集中豪雨発生数の年変動の要因を日本近海の海面水温（SST）および梅雨期（6-7 月）における九州への下層水蒸気の流入量との関係から調べました。また、過去の研究では、九州では強い降水ほど早朝に発生しやすいことが示されており、そのことを確かめるために、集中豪雨の発生頻度の日変化についても調査しました。上記の調査では、アメダスの 1 時間降水量（P1H）を用いた短時間大雨との比較も行いました。P1H の閾値（68mm）は、それで定義される短時間大雨の年間発生数が、P3H の閾値（130mm）で定義した集中豪雨の発生数とほぼ同数になるように設定しました。

2. 成果

（1）集中豪雨発生数の年変動

1976-2022 年に集中豪雨が発生したアメダス地点およびその発生数（図 1 a）をみると、九州から四国、紀伊半島、東海地方の太平洋側で多発していることがわかります。そのうち、九州の西側で発生する集中豪雨の多くは、梅雨期に発生し、梅雨期に全国で発生した集中豪雨の半数程度が九州の西側に集中して発生していることが確認できます（図 1 b）。この要因は、梅雨期九州で集中豪雨が発生するときによく見られる気圧配置パターン（図 2）のように、強化された南西風により東シナ海上から九州に大量の下層水蒸気が流入して、九州の西側で大雨をもたらすためです。そこで、年単位での集中豪雨発生数の経年変化（図 3 a）をみると、長期増加傾向を示す中に 10 年規模の変動がみられます。これは日本列島に大雨をもたらす下層水蒸気が周辺の海上から流入し、その SST にも同様の変動（図 4 b）があることが要因の 1 つだと考えられます。日本周辺の SST の変動との相関係数を求めると、0.45 とやや高い相関が確認できました。九州領域に限定すると、集中豪雨の 47 年間の長期増加

傾向が 2.6 倍となり、全国の 2.0 倍よりも増加割合が大きくなる一方、日本周辺および東シナ海南部海域の SST の変動との相関係数はそれぞれ 0.30、0.34 と小さくなりました。

梅雨期（図 4 a）では、集中豪雨の 47 年間の長期増加傾向が全国で 3.4 倍、九州領域では 3.5 倍となり、増加傾向が一段と顕著になりました。短時間大雨の増加は九州領域で 5.4 倍（全国では 3.2 倍）と集中豪雨よりも著しい増加傾向を示しました。日本近海の 4-6 月の SST と梅雨期の集中豪雨発生数との相関係数は 0.32 と小さくなり、SST が梅雨期の集中豪雨の年変動の主要因ではないと考えられます。九州領域に限れば、下層水蒸気の主な流入元である東シナ海南部の SST（図 4 b 黒）との相関係数は 0.20 とさらに小さくなりました。別要因として、九州西方海上（29.5-32.5N、127-130E、図 2 の黒枠領域）で平均した 500m 高度の水蒸気フラックス量 FLWV（= 空気の密度×水蒸気混合比×風速）が $250 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上になる出現頻度（図 4 b 赤）を調べると、相関係数 0.45 と SST より強い関係がみられました。これらから、梅雨期の集中豪雨は SST の上昇とともに増加しているものの、年変動には九州周辺の気圧配置の影響をより強く受けていることが考えられます。

（2）集中豪雨と短時間大雨の出現頻度の日変化

年単位の集中豪雨と短時間大雨の出現頻度の日変化（図 5 a）をみると、それぞれ夜間と夕刻に多く発生していることがわかりますが、極端にその時刻帯に頻発している訳ではありません。梅雨期の 6-7 月（図 5 b）の短時間大雨では夜間での割合が増えていますが大きく発生特性が変わっていない一方、集中豪雨では朝（7-9 時）の出現頻度が極端に多くなっています。特に、九州領域でその傾向が顕著です。梅雨期以外（図 5 c）では、集中豪雨の発生は夜間に多くなりますが、顕著な日変化は見られなくなり、九州領域に限ればほとんど日変化がありません。集中豪雨の明け方（4-6 時）から朝にかけての発生割合に対し、P3H の閾値を変えた場合の変化を表 1 a に示します。年間では明け方から朝にかけての出現割合が、7-9 時の九州領域で閾値が大きくなるほど若干増大するものの、全国でみても大きく変わることはありません。7-9 時の割合で、全国で 14%、九州領域で 20%前後です（九州領域以外では 10%前後）。梅雨期の 6-7 月では閾値を大きくするほど、九州領域での明け方から朝にかけての出現割合が増大しています。P3H>150mm になると 7-9 時での出現割合が九州領域で 30%近くになり、4-9 時に発生する割合が全国で 37%、九州領域に限れば、半分近くに達しています。この割合は他の時刻（4-9 時以外）平均と比べて、九州領域では 7-9 時で 3.4 倍、4-9 時で 2.8 倍になっています（表 1b）。

梅雨期の明け方から朝（4-9 時）に発生した集中豪雨と短時間大雨の 47 年間の長期増加傾向を他の時間帯や梅雨期以外と比較しました（表 2）。特に、九州領域で 4-9 時に発生した集中豪雨（短時間大雨）の増加割合は、梅雨期以外の 1.35(1.94)に対し梅雨期は 7.47(6.68)と、99%（95%）以上の信頼度で有意に大きくなっていました。（九州領域で 4-9 時以外の時間帯に発生した集中豪雨（短時間大雨）の増加割合は、梅雨期は 2.34（4.79）。）よって、梅雨期の集中豪雨と短時間大雨の長期増加傾向の大部分は、特に九州地方で明け方から朝にかけて降る大雨の増加によって説明できます。

なお、梅雨期九州で 4-9 時に集中豪雨が頻発している理由については調査中です。

この研究成果は、2024年5月15日付けで日本気象学会が発行する 科学誌「The Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA)」に早期公開されました。

<発表論文>

掲載誌： The Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA)
タイトル： Interannual and Diurnal Variations in the Frequency of Heavy Rainfall
Events in the Kyushu area, western Japan during the rainy season
著者名： Teruyuki Kato
所属： Meteorological Research Institute
URL： <https://doi.org/10.2151/sola.2024-026>

<参考文献>

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, https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2022/2022_05_0003.pdf.

下記の気象研究所の報道発表で解説：

https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R04/040520/press_040520.html

問い合わせ先： 気象研究所 台風・災害気象研究部 部長 加藤 輝之 メール：tkato@mri-jma.go.jp (@は小文字にしてください) (広報担当) 気象研究所 企画室電話：029-853-8536 (内線 291)
--

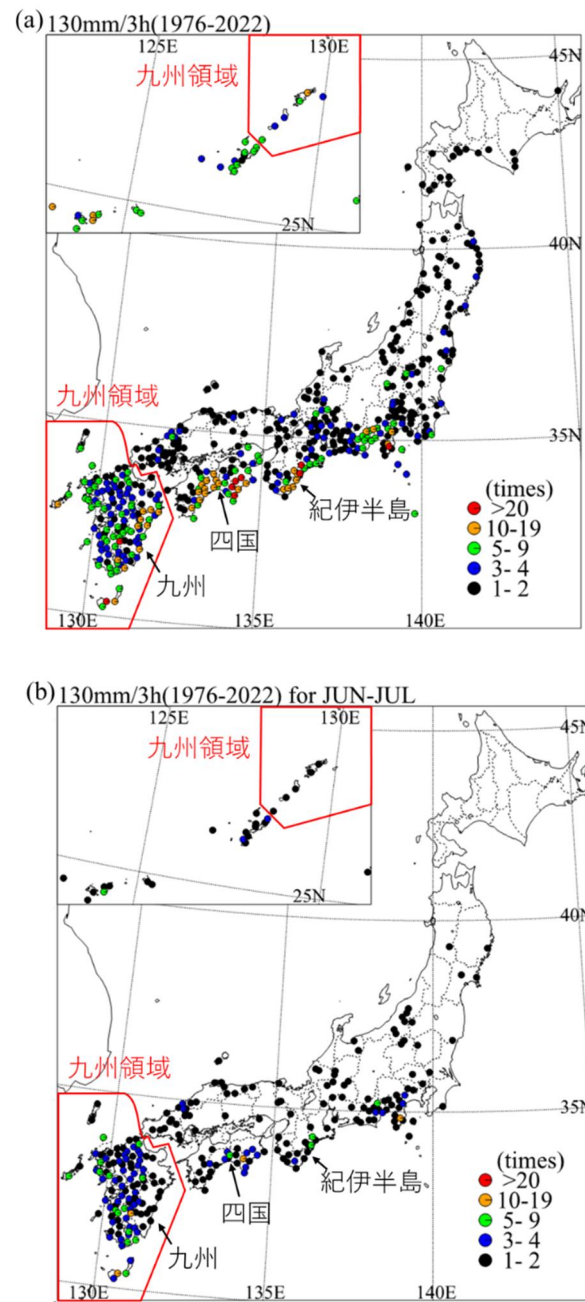


図 1 : (a) 1976-2022 年の集中豪雨（ $P3H \geq 130\text{mm}$ ）の発生場所. (b) 梅雨期（6-7 月）に限定した場合. カラーで発生回数を示す.

九州から四国、紀伊半島、東海地方の太平洋側で多発しており、梅雨期に発生した集中豪雨の半数程度が九州の西側に集中して発生していることがわかる.

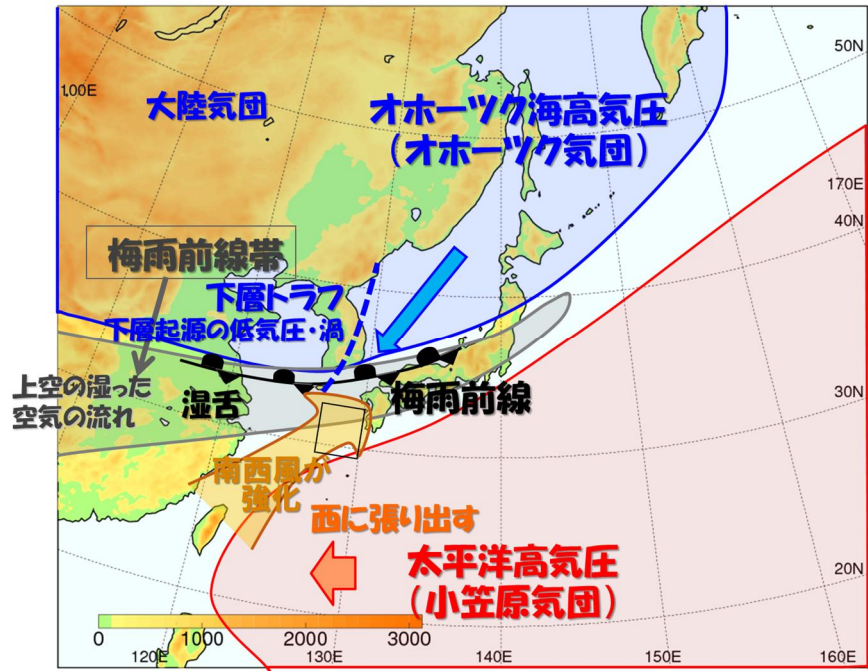


図 2 : 梅雨期九州で集中豪雨が発生するときによく見られる気圧配置パターン．図解説中小規模気象学 (https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf) P147 を改訂．図 3 b の解析領域を黒枠で示す．

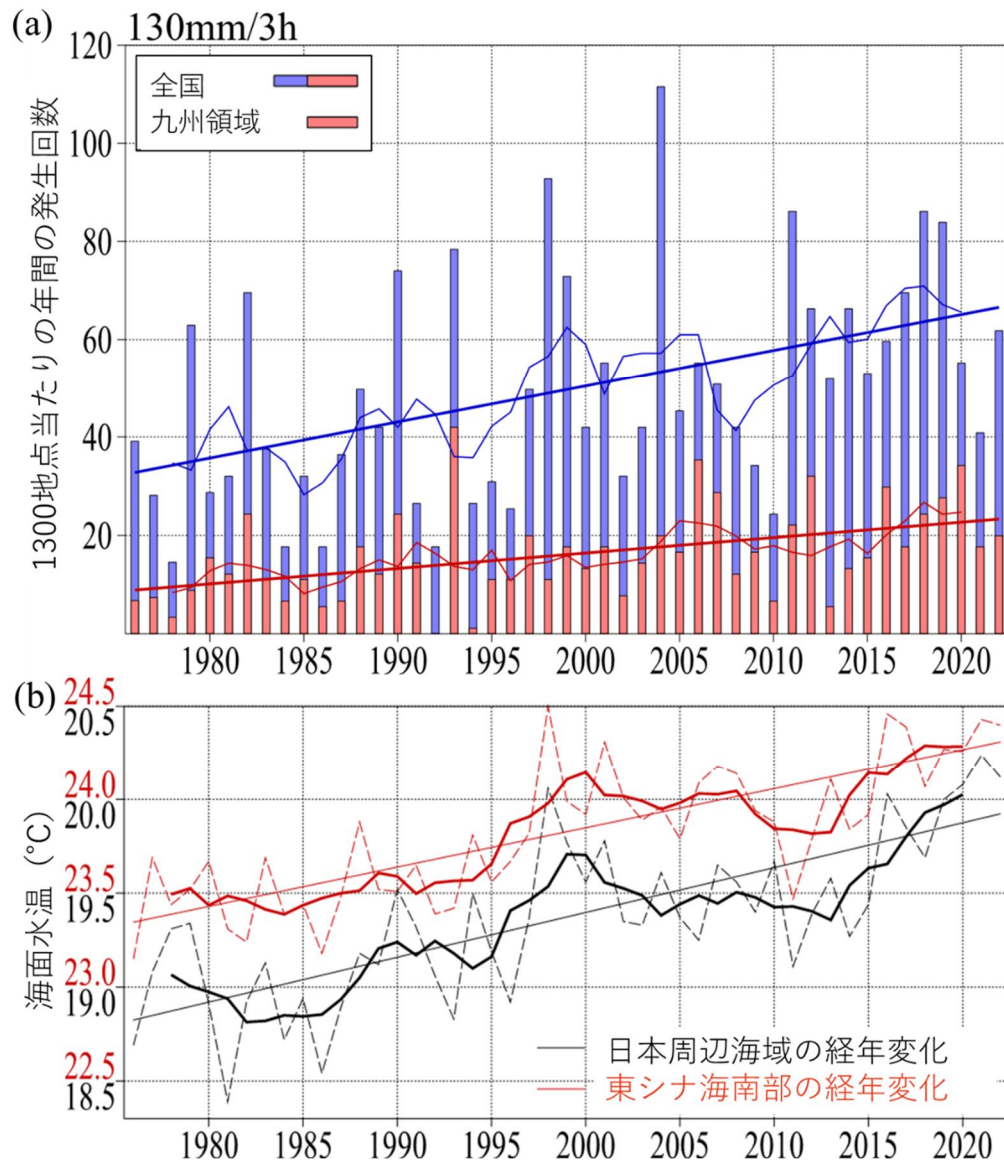


図3：(a) $P3H \geq 130\text{mm}$ （全国：青+赤、九州領域：赤）の1300地点当たりの年間の発生回数と(b) 日本周辺海域（黒破線）と東シナ海南部（赤破線）の海面水温の経年変化。(a)の細線と(b)の太線は5年移動平均、(a)の太線と(b)の細線の直線は長期増加傾向。海面水温データは気象庁がホームページで公開しているデータ (https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html) を利用した。(a)の集中豪雨の長期増加傾向を示す中に10年規模の変動(5年平均の折れ線)がみられる。これは日本列島に大雨をもたらす下層水蒸気が周辺の海上から流入し、(b)で示した海面水温にも同様の変動があることが要因の1つだと考えられる。

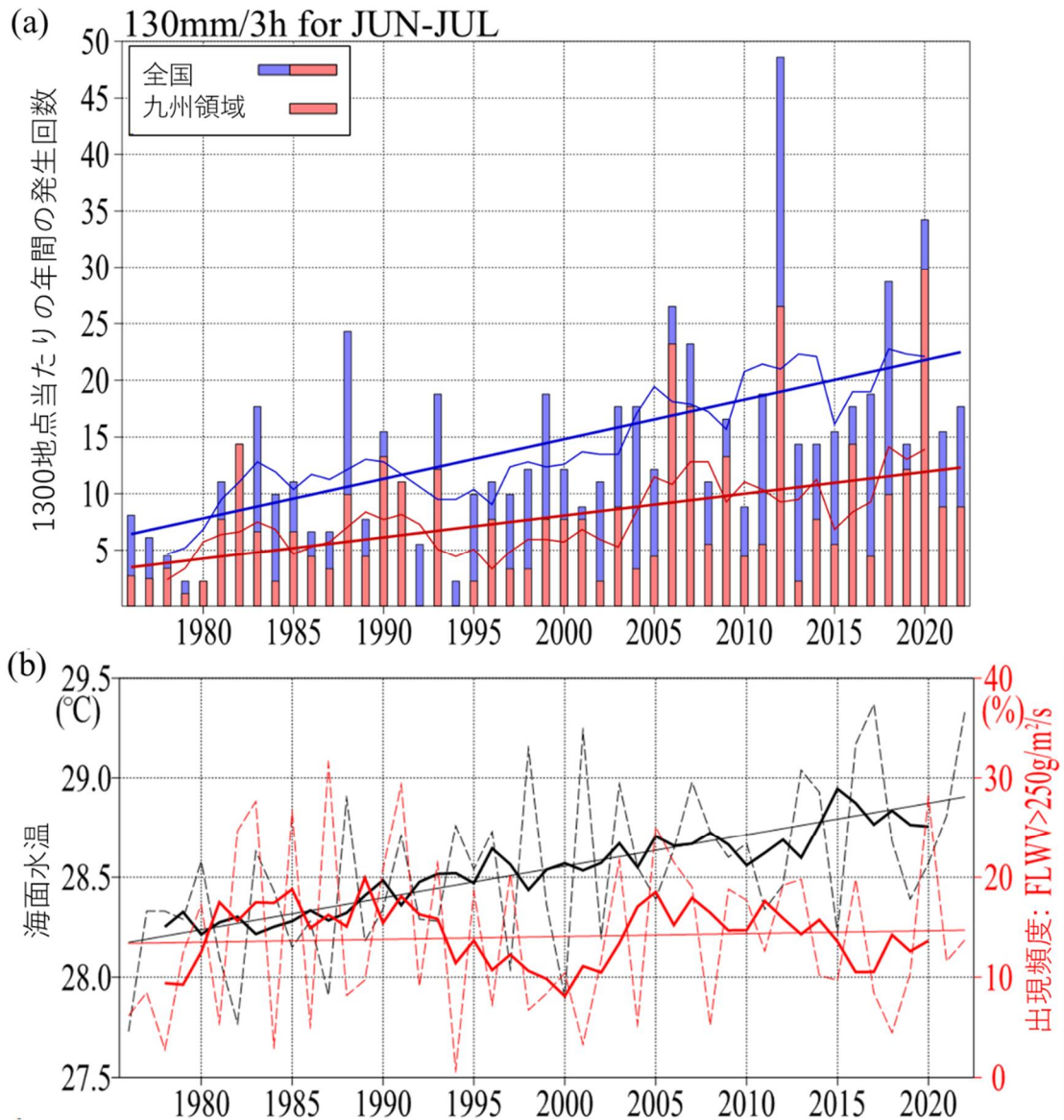


図4：図3と同じ、ただし、(a)6-7月の発生回数と(b)4-6月の東シナ海南部の海面水温（黒破線）および6-7月の九州西方海上の水蒸気フラックス量 FLWV (= 空気の密度×水蒸気混合比×風速) が $250\text{g m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上となる場合の出現頻度（赤破線）の経年変化. FLWV はヨーロッパ中期予報センター再解析データ (ERA-5) から作成. 水蒸気混合比は空気 1kg 中に存在する水蒸気量 (kg).

集中豪雨発生数の年変動と $\text{FLWV} > 250\text{g m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の出現頻度には、海面水温（図3b）より強い関係がみられる. このことから、梅雨期の集中豪雨は海面水温の上昇とともに増加しているものの、年変動には九州周辺の気圧配置の影響をより強く受けていることが考えられる.

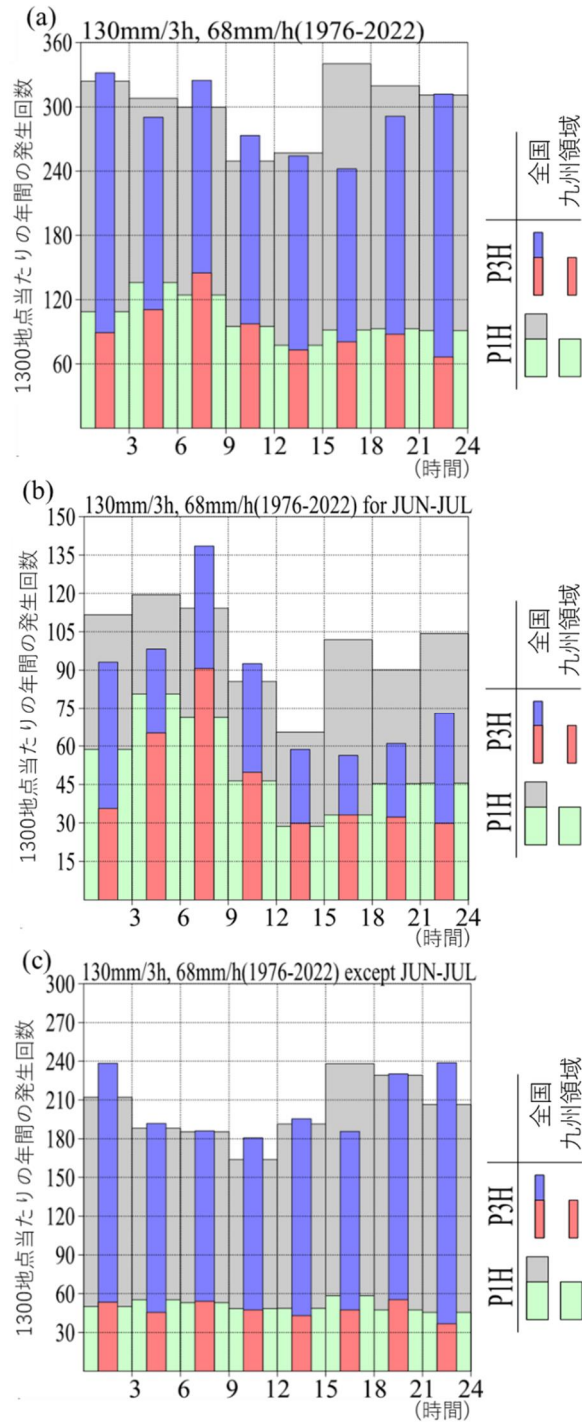


図 5 : 1976-2022 年における $P3H \geq 130\text{mm}$ (全国 : 青+赤、九州領域 : 赤) と $P1H \geq 68\text{mm}$ 以上 (全国 : 灰色+緑、九州領域 ; 緑) の 1300 地点当たりの発生数の日変化. (a) 年単位、(b) 梅雨期 (6-7 月)、(c) 梅雨期以外.

年単位の集中豪雨と短時間大雨はそれぞれ、夜間と夕刻に多く発生しているが、極端にその時刻帯に頻発している訳ではない. 梅雨期の 6-7 月の短時間大雨では夜間での割合が増えているが大きく発生特性が変わっていない一方、集中豪雨では朝 (7-9 時) の出現頻度が極端に大きくなっている. 特に、九州領域でその傾向が顕著. 梅雨期以外 (図 5c) では、集中豪雨の発生は夜間に多くなるが、顕著な日変化は見られなくなり、九州領域に限ればほとんど日変化がない.

表 1 : 梅雨期 (6-7 月)、梅雨期以外と年間における P3H $\geq$ 100mm, 130mm, 150mm に対する (a) 4-6 時、7-9 時および 4-9 時での出現割合(%) と (b) 4-9 時以外の出現割合平均と比較した場合の、4-6 時、7-9 時および 4-9 時での発生倍率. 括弧内の赤字と青字は九州領域とそれ以外の領域での値.

年間では明け方から朝にかけての出現割合が、7-9 時の九州領域で閾値が大きくなるほど若干増大するものの、全国でみても大きく変わることはない. 7-9 時の割合で、全国で 14%、九州領域で 20%前後 (九州領域以外では 10%前後). 梅雨期の 6-7 月では閾値を大きくするほど、九州領域での明け方から朝にかけての出現割合が増大. P3H>150mm になると 7-9 時での出現割合が九州領域で 30%近くになり、4-9 時に発生する割合が全国で 37%、九州領域に限れば、半分近くに達している. この割合は他の時刻 (4-9 時以外) 平均と比べて、九州領域では 7-9 時で 3.4 倍、4-9 時で 2.8 倍.

(a)	P3H	4-6 時	7-9 時	4-9 時
梅雨期	100mm	14.9(17.5 ,12.0)	19.4(22.7 ,15.7)	34.4(40.2 ,27.7)
	130mm	14.6(17.8 ,10.9)	20.6(24.8 ,14.7)	35.3(42.5 ,26.5)
	150mm	15.1(18.9 ,11.1)	22.0(29.4 ,14.1)	37.1(48.3 ,25.2)
梅雨外	100mm	12.6(14.6 ,11.9)	11.7(14.8 ,10.7)	24.3(29.5 ,22.6)
	130mm	11.6(11.9 ,11.6)	11.3(14.1 ,10.4)	22.9(26.0 ,22.0)
	150mm	11.5(11.6 ,11.4)	10.0(13.5 ,9.0)	21.5(25.1 ,20.4)
年間	100mm	13.3(16.1 ,11.9)	14.2(18.8 ,11.8)	27.5(34.9 ,23.7)
	130mm	12.5(14.8 ,11.4)	14.0(19.3 ,11.5)	26.5(34.1 ,22.9)
	150mm	12.5(15.1 ,11.4)	13.5(21.1 ,10.0)	26.0(36.2 ,21.4)
(b)	P3H	4-6 時	7-9 時	4-9 時
梅雨期	100mm	1.4(1.8 ,1.0)	1.5(2.3 ,1.3)	1.6(2.0 ,1.1)
	130mm	1.4(1.9 ,0.9)	1.9(2.6 ,1.3)	1.6(2.2 ,1.1)
	150mm	1.4(2.2 ,0.9)	2.1(3.4 ,1.1)	1.8(2.8 ,1.0)
梅雨外	100mm	1.0(1.2 ,0.9)	0.9(1.3 ,0.8)	1.0(1.3 ,0.9)
	130mm	0.9(1.0 ,0.9)	0.9(1.1 ,0.8)	0.9(1.1 ,0.8)
	150mm	0.9(0.9 ,0.9)	0.8(1.1 ,0.7)	0.8(1.0 ,0.8)
年間	100mm	1.1(1.5 ,0.9)	1.2(1.7 ,0.9)	1.1(1.6 ,0.9)
	130mm	1.0(1.3 ,0.9)	1.1(1.8 ,0.9)	1.1(1.6 ,0.9)
	150mm	1.0(1.5 ,0.9)	1.1(2.0 ,0.8)	1.1(1.7 ,0.8)

表2：全国、九州領域、九州以外の領域に対して、明け方～朝（4-9時）とそれ以外の時刻、および梅雨期（6-7月）と梅雨期以外でみた、集中豪雨（P3H $\geq$ 130mm）と短時間大雨（P1H $\geq$ 68mm）の1976-2022年の平均発生回数、47年間の長期増加傾向（2022年と1976年の比）およびMann-Kendall検定によるZ値。Z値が2.69（2.02、1.68）を超えると信頼水準99（95、90）%以上で統計的に有意であることを示し、該当する数値に、***（**、*）を付加している。

九州領域で4-9時に発生した集中豪雨（短時間大雨）の増加割合は、梅雨期以外の1.35（1.94）に対し梅雨期は7.47（6.68）と、99%（95%）以上の信頼度で有意に大きくなっている。九州領域で4-9時以外の時間帯に発生した集中豪雨（短時間大雨）の増加割合は、梅雨期は2.34（4.79）。このことから、梅雨期の集中豪雨と短時間大雨の長期増加傾向の大部分は、特に九州地方で明け方から朝にかけて降る大雨の増加によって説明できる。

		時間	期間	平均 事例数	47年間の 長期変化傾向	Z値
P3H $\geq$ 130 mm	全国	4-9	梅雨期	5.04	5.85	3.61***
			梅雨外	8.04	2.16	1.97*
		上記外	梅雨期	9.25	2.72	2.98***
			梅雨外	27.00	1.54	1.80*
	九州領域	4-9	梅雨期	3.32	7.47	3.01***
			梅雨外	2.12	1.35	0.48
		上記外	梅雨期	4.48	2.34	1.10
			梅雨外	6.04	2.33	2.55**
	九州以外	4-9	梅雨期	1.72	4.01	1.95*
			梅雨外	5.92	2.61	2.92***
		上記外	梅雨期	4.77	3.16	2.31**
			梅雨外	20.97	1.38	1.14
P1H $\geq$ 68 mm	全国	4-9	梅雨期	4.97	5.86	3.41***
			梅雨外	7.95	2.52	3.14***
		上記外	梅雨期	11.89	2.62	3.19***
			梅雨外	26.41	1.40	1.47
	九州領域	4-9	梅雨期	3.23	6.68	2.07**
			梅雨外	2.31	1.94	0.40
		上記外	梅雨期	5.49	4.79	2.95***
			梅雨外	6.36	1.88	2.32**
	九州以外	4-9	梅雨期	1.74	4.72	2.45**
			梅雨外	5.64	2.84	3.45***
		上記外	梅雨期	6.41	1.74	1.10
			梅雨外	20.05	1.28	0.87