

# 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

加 藤 輝 之\*

## 1. はじめに

日本での大雨発生頻度の経年変化については、気象庁の官署データやアメダスデータを用いて、日降水量 (Fujibe *et al.* 2005) や 1 時間積算降水量 (Fujibe 2015) などを対象に調べられてきており、それらの調査結果は統計的有意な増加傾向を示している。気象庁も日本での日降水量と 1 時間積算降水量の経年変化を気候変動監視レポート (気象庁 2021) として毎年公表している。それらの増加傾向の要因は大気下層の水蒸気量の増加にともなうもので、クラウジウスークラペイロン (Clausius-Clapeyron) の式から導き出される、地球温暖化等にもなう気温 1 °C 上昇当たり大気中に含まれる水蒸気量が 6-7 % 増えることで説明されている (Lenderink and Meijgaard 2008 ; Berg *et al.* 2009 ; Fujibe 2013 ; Hatsuzuka *et al.* 2021)。

大雨をもたらすものには、おおむね 1 時間積算降水量で判断できる局地的大雨や、雨が 1 日以上降り続くことで大雨になる場合以外に、同じような場所で数時間強い雨が降り続くことで大雨になる集中豪雨がある (加藤 2017)。集中豪雨の中には、土砂災害の多くをもたらす線状降水帯による大雨も半数程度含まれている (Kato 2020, 以降 K20)。集中豪雨をもたらす数時間の積算降水量の経年変化については、Fujibe *et al.* (2005) が 1898 年から 2003 年までの気象庁の官署データによる 4 時間積算降水量を用いて調査し、最上位の 10-50mm (4 h)<sup>-1</sup> 以上に区分される発生数の増加傾向

がもっとも大きく、季節では 6 ~ 8 月の暖候期の増加傾向が顕著であることを示した。また、津口・加藤 (2014, 以降 TK14) は気象庁解析雨量を用いて集中豪雨事例を抽出し、抽出した事例の月別、地域別および形状の特徴を調査した。集中豪雨は 7 月から 9 月に多く、九州を含む南日本では梅雨期 (6 月と 7 月) に特に多く、線状のものが大半を占めることが示されている。

本研究では、TK14 や K20 で採用された 3 時間積算降水量をベースに 1976 年からのアメダスデータを用いて、集中豪雨事例の発生数の経年変化を年単位および月別に調べることを目的とする。なお、集中豪雨は線状降水帯の降雨分布にみられるように空間的な局所性をもっており、本来は空間分布も合わせみるべきだが、本研究では便宜上 3 時間積算降水量だけを尺度とした。

## 2. データと手法

本研究では、1976 年から 2020 年のアメダスで観測された 1 時間積算降水量データ (正時から正時) を用いた。降水量を観測しているアメダス観測点は日本列島上におよそ 17km 間隔で配置され、上記期間の年平均観測地点数は約 1318 である。アメダス運用開始当初は設置を進めていたこともあり、1976 年では 1136 地点、1977 年では 1230 地点と若干少なかったが、1978 年以降では 1300 地点以上となった。また無線ロケット雨量計の全廃により 2010 年には 1277 地点と 1300 地点を割ったが、大雨が頻発する島しょ部等での観測強化のため新たに雨量計が設置され、2014 年以降では 1300 地点以上の観測点を維持している。アメダス観測地点には 5 桁の地点番号が振られており、本研究では 1979 年以前から 2020 年まで継続して同一地点番号で観測されている

\* 気象研究所。  
tkato@mri-jma.go.jp

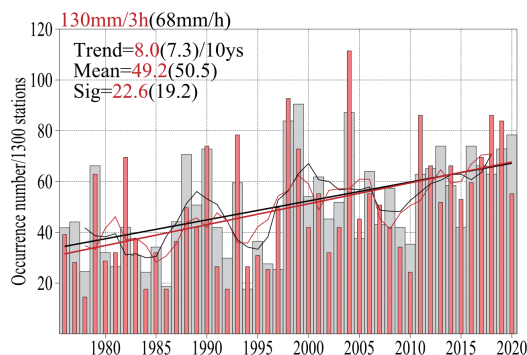
—2021年8月19日受領—  
—2021年11月30日受理—

881地点に、観測地点が近傍へ移転されて継続的に観測されている地点（1つの継続地点とする）を加えた1178地点のデータを対象とした。なお、茨城県の筑波山頂付近から下館市に移設されたアメダス地点のように標高や降雨特性が大きく変わると判断したものは除外した。

集中豪雨事例（以降、集中豪雨）はTK14やK20が1年間での平均出現数が約20事例となるように設定した3時間積算降水量（P3H）130mmを閾値として抽出した。具体的には、日界に関係なく連続して1時間ごとにP3Hを算出して、その値が前後6時間の値よりも大きい場合を1つの事例とした。このことから、6時間以内に同一地点で2つの事例は抽出されなくなる。また、P3Hの閾値を100mm、150mmまたは200mmに変えた場合についても調査した。なお、抽出事例数は

ほぼ年平均観測地点数である1300地点当たりの数に年ごとに換算して発生数とした。さらに、P3Hで判断した集中豪雨と1時間積算降水量（P1H）で判断した短時間大雨の発生数の特徴を比較した。その際、抽出方法が異なることから単純にP3H=130mmを閾値とした場合の発生数（年平均49.2事例）と短時間大雨発生数がほぼ同数（年平均50.5事例）になるように、P1Hの閾値として68mmを用いた。なお、短時間大雨は気象庁（2021）と同様に連続した時間でも抽出した。

長期変化傾向の有意性は、経年変化の解析手法によく用いられるMann-Kendall検定（Hirsch *et al.* 1982）によるZ値で判断した。また、大雨の出現頻度の長期変化傾向における大気状態の変化を考察するために、気象庁55年長期再解析データ（JRA-55, Kobayashi *et al.* 2015）を用いた。



第1図 1976～79年から2020年まで継続および近傍で観測が継続されたアメダス地点（1178か所）における3時間積算降水量130mm以上（赤）と1時間積算降水量68mm以上（黒）の1300地点当たりの年単位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（Trend）、Meanは年平均回数、Sigは標準偏差。

第1表 1976～79年から2020年まで継続および近傍で観測が継続されたアメダス地点（1178か所）での通年における3時間積算降水量100、130、150、200mm以上の1300地点当たりの年平均発生数（Mean）、10年でみた長期変化傾向（Trend/10ys）とその傾向をMeanで規格化した値（Trend/10ys/Mean）、標準偏差をMeanで規格化した値（ $\sigma$ /Mean）、長期変化傾向に基づいた1976年に対する2020年の比、およびMann-Kendall検定によるZ値（Z value, 2.69以上：信頼水準99%以上で統計的に有意）。

mm / 3 h	Mean	Trend/ 10ys	Trend/ 10ys/Mean	$\sigma$ /Mean	Ratio/45ys	Z value
100	169.9	23.65	0.14	0.38	1.90	4.95
130	49.20	8.05	0.16	0.46	2.15	5.35
150	22.39	4.43	0.20	0.53	2.58	5.09
200	3.57	0.91	0.26	0.70	3.62	4.53

### 3. 結果と考察

#### 3.1 年単位での集中豪雨発生数の経年変化

1976年から2020年のアメダス降水量データから抽出された集中豪雨（ピンク/赤色）と短時間大雨（灰/黒色）の1300地点当たりの年別発生数を棒グラフで、5年移動平均を折れ線グラフで、長期変化傾向を直線で第1図に示す。集中豪雨と短時間大雨の発生数を年ごとに比較すると、集中豪雨の方が多い年や少ない年があるが、5年移動平均でみると、ともに10年程度でほぼ同期して増減しており、長期変化でも同様の増加傾向を示している。第1表で示したZ値から、これらの増加傾向はともに信頼水準99%以上で統計的に有意である。このことから、短時間大雨で示唆されているように、集中豪雨の発生数の増加についても基本的には、地球温暖化等にもなう気温上昇で大気中に含まれ得る水蒸気が多くなることで大雨が増えるということ

と説明できる。下層水蒸気量の増加傾向については、JRA-55を用いた統計解析を行い、その結果でも全国的に有意であることを確かめた（図略）。

また、標準偏差の値が示すように、集中豪雨の方が、年ごとの発生数の変動はやや大きいものの、長期増加傾向（10年間で8事例）は短時間大雨の傾向（7.3事例）

例)よりも1割ほど大きい。このような短時間大雨の長期増加傾向は、気象庁(2021)による本研究と同期間のアメダスデータを用いた $P1H=80\text{mm}$ や $50\text{mm}$ 以上の統計結果と同様である。厳密には $P1H\geq 80\text{mm}$ では、気象庁(2021)による長期増加傾向は $3.0/10\text{年}$ だが、本研究で用いたアメダス地点だけでは $2.8/10\text{年}$ となる。これは、2010年以降、大雨の発生頻度が高い島しょ部に本研究で用いていないアメダス地点が追加整備されたためだと考えられる。

集中豪雨抽出のP3Hの閾値を変えた場合の経年変化についても調査した。第1表にP3Hの閾値を $100\text{mm}$ 、 $130\text{mm}$ 、 $150\text{mm}$ または $200\text{mm}$ にした場合の集中豪雨の年平均発生数(Mean)、長期増加傾向および発生数の年変動の大きさを示す。どの閾値を用いても増加傾向を示しており、年平均発生数で規格化した増加割合(以降、Trend/Mean)は閾値が大きくなるほど増大し、すべてにおいて信頼水準99%以上で統計的に有意である。このことは、降水量の多い大雨ほど増加傾向がより明瞭になっていることを意味している。同様の傾向は短時間大雨でも見られる(気象庁2021)。また、年平均発生数で規格化した標準偏差(以降、 $\sigma/\text{Mean}$ )をみると、降水量のより多い大雨ほど年ごとの発生数の変動が大きくなり、P3Hの閾値 $100\text{mm}$ に比べて $200\text{mm}$ での変動の大きさはほぼ2倍になっている。

### 3.2 月別での集中豪雨発生数の経年変化

この節では、集中豪雨発生数の経年変化を暖候期(6~10月)について月別に議論する。月別の発生数(第2表a)をみると、9月(年平均15事例弱)が一番多く、次いで7月と8月がほぼ同数(9.5事例前後)である。この3か月での発生数が多い特徴はTK14と同じだが、TK14では9月が特に多いわけではない(3か月での値はほぼ同数)。これは、TK14では集中豪雨の抽出に、前24時間積算降水量において4~11月の総

降水量の15年間平均期間降水量の12%以上という条件を追加しているためだと考えられる。この条件により、9月に多く発生する、台風を含む熱帯低気圧の影響による西日本太平洋側で抽出される大雨事例が限定される。短時間大雨(第2表b)でも7~9月の3か月での発生数が多く、集中豪雨の発生数に比べて8月は同程度だが、9月では若干少なくなる一方、7月では20%ほど多くなっている。

この3か月の中でまず、Trend/Meanが大きい7月( $0.26/10\text{年}$ )の集中豪雨の経年変化について議論する。7月のTrend/Meanは年平均( $0.16/10\text{年}$ )よりも50%以上大きく、このことは梅雨期(6月: $0.27/10\text{年}$ も含めて)には集中豪雨が特に発生しやすくなっていることを意味している。統計期間の45年(長期変化傾向に基づいて1976年と2020年との比較)で考えると、梅雨期での集中豪雨の発生頻度は約3.8倍になっており、年平均の増加率(~2.2倍)よりもかなり大きい。また、7月の $\sigma/\text{Mean}$ は発生数が約1.5倍の9月よりも小さく、発生数の年変動が小さいことを示している。7月の短時間大雨のTrend/Mean( $0.21/10\text{年}$ )は集中豪雨に比べて30%ほど小さいが、それでも統計期間の45年間で考えると短時間大雨の出現頻度は2.8倍程度増加している。これらの特徴は、第2図に示した7

第2表 第1表と同じ。ただし6月~10月と通年における(a)3時間積算降水量 $130\text{mm}$ 以上と(b)1時間積算降水量 $68\text{mm}$ 以上の結果。Z値(Z value)は、負値では減少傾向、正値では増加傾向を示し、その絶対値は1.30以上では信頼水準80%以上、1.68以上では同90%以上、2.02以上では同95%以上、2.69以上では同99%以上で統計的に有意を示す。

(a)  $130\text{mm}/3\text{h}$

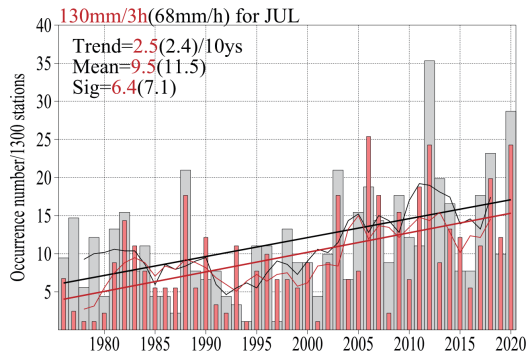
Month	Mean	Trend/ 10ys	Trend/ 10ys/Mean	$\sigma/\text{Mean}$	Ratio/45ys	Z value
6	4.62	1.23	0.27	0.98	3.90	1.74
7	9.55	2.51	0.26	0.67	3.80	2.16
8	9.64	0.82	0.09	0.73	1.47	-0.20
9	14.87	1.74	0.12	0.73	1.71	0.76
10	5.97	1.15	0.19	1.54	2.49	-1.57
Year	49.20	8.05	0.16	0.46	2.15	5.35

(b)  $68\text{mm}/\text{h}$

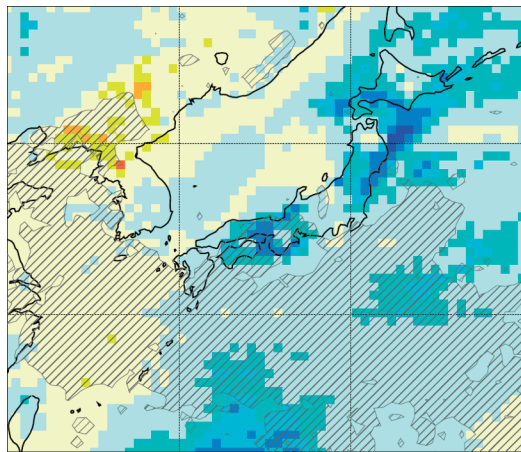
Month	Mean	Trend/ 10ys	Trend/ 10ys/Mean	$\sigma/\text{Mean}$	Ratio/45ys	Z value
6	4.80	1.17	0.24	0.96	3.38	1.67
7	11.50	2.43	0.21	0.62	2.78	2.27
8	9.99	1.75	0.18	0.57	2.29	0.94
9	13.91	0.49	0.03	0.65	1.17	0.03
10	4.18	0.77	0.19	1.29	2.41	-1.20
Year	50.50	7.28	0.14	0.38	1.95	5.14

月の集中豪雨と短時間大雨の発生数の年変動から容易に読み取れ、増加傾向はともに信頼水準95%以上で統計的に有意である（6月の増加傾向は信頼水準ほぼ90%以上）。

第2図をみると、1994年を除けば、集中豪雨と短時間大雨の発生数がともに極端に少ない年はなく、年単



第2図 第1図と同じ、ただし7月のみを対象。



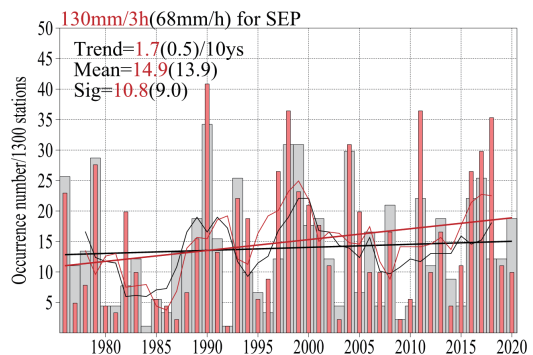
-99 -95 -90 -80 0 80 90 95 99%

第3図 1976年から2020年までの8月における、500m高度の水蒸気フラックス量 $150\text{g m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ 以上の出現頻度の増加（正值）と減少（負値）傾向をMann-Kendall検定によるZ値から推定した信頼水準の分布（カラー、%）。網掛けは対流有効位置エネルギーCAPEが $1000\text{J kg}^{-1}$ 以上かつDLFCが1000m以下の出現頻度の増加傾向が信頼水準90%以上の領域を示す。CAPEは950hPa、925hPaまたは900hPa気圧面から持ち上げたときの最大値を採用。DLFCは500m高度から自由対流高度までの距離。JRA-55から作成。

位（第1図）ほど双方の発生数の関連性は高くないが、5年移動平均では1980年以前を除いて、ほぼ同期して増減している。ただ2000年前後をみると、年単位の変動では集中豪雨と短時間大雨ともに発生数が多くなっているが、7月の同期間にはそのような特徴は見られない。このことは、年単位だけで評価するのではなく、月別の特徴を調査する重要性を示唆している。

8月の集中豪雨のTrend/Mean(0.09/10年)は6~10月の中では一番小さい一方、短時間大雨では7月と大きく変わらない（第2表）。このことについてJRA-55を用いた、500m高度（Kato 2018）の水蒸気フラックス量（=密度×比湿×風速の大きさ） $150\text{g m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ 以上の出現頻度と大雨をもたらす積乱雲の発達しやすい大気状態の経年変化に対するMann-Kendall検定の結果（第3図）から考察する。ここで水蒸気フラックス量としては、K20が線状降水帯の発生しやすい条件の1つとして採用している閾値を用い、積乱雲の発達しやすい大気状態としては、対流有効位置エネルギー（CAPE、950hPa、925hPaと900hPaの気塊を持ち上げたときの最大値を採用） $1000\text{J kg}^{-1}$ 以上かつ500m高度から自由対流高度までの距離が1000m以下を条件とした。

第3図をみると、四国、近畿地方および北日本で水蒸気フラックス量の減少傾向がかなり有意な領域が見られる一方、西日本では積乱雲の発達しやすい大気状態の出現頻度が有意に増加している。これらのことから、長期的傾向として、8月は太平洋高気圧に覆われることが多くなり、海上から大気下層に水蒸気が大量に流入する頻度が低下することで、大雨が持続しなくなる一方、気温が高くなることで大雨が降りやすくなったためだと考えられる。なお、短時間大雨の発生頻度の増加傾向は信頼水準80%に満たず、統計的には



第4図 第1図と同じ、ただし9月のみを対象。

有意でない。

9月の集中豪雨の発生頻度は、第2表の Trend/Mean (0.12/10年) から長期変動を見積もると、45年間で1.7倍程度増加しているが、その増加傾向は信頼水準80%未満であり、統計的には有意ではない。その一方、短時間大雨の出現頻度は1.2倍/45年程度と増加傾向は小さい。9月でのそれぞれの発生数の年変動(第4図)をみると、年ごとの変動はかなり大きいものの、短時間大雨には長期変動はほとんど見いだせず、集中豪雨でも1990年以降、増加傾向ははっきりしない。JRA-55を用いた大雨をもたらす積乱雲の発達しやすい大気状態の統計解析(図略)では8月と異なり、増加傾向が有意な領域はわずかに局所的に見られるだけだった。このことから、短時間大雨の発生数に大きな長期変動のないことが考察できる。一方、集中豪雨の発生数の増加傾向は上述の積乱雲の発達しやすい大気状態と水蒸気フラックス量の経年変化(ともに統計的に有意な変化はない)では説明できない。1つの要因として、日本に接近・上陸する台風の移動速度が9月に顕著に減少していること(Yamaguchi and Maeda 2020)が考えられるが、より詳細な調査が必要である。

10月の集中豪雨と短時間大雨の Trend/Mean (ともに0.19/10年) は大きな増加傾向を示すが、 $\sigma$ /Mean (年変動) が大きく、Z値では逆に減少傾向を示すなど、統計的には有意とは言えない。

#### 4. まとめと今後の課題

1976年から2020年まで観測が継続および近傍で観測が継続されたアメダス地点(1178か所)のP3Hを用いて、130mmを閾値として6時間以内に別事例を選ばないように集中豪雨事例を抽出し、その発生数の経年変化を調査した。また、抽出数がほぼ同数となるP1H $\geq$ 68mmの短時間大雨の発生数の変化と比較した。年単位では、P1H $\geq$ 50mmおよびP1H $\geq$ 80mmの発生数(気象庁2021)と同様に、集中豪雨と短時間大雨の発生数は信頼水準99%以上で長期増加傾向を示したが、集中豪雨の増加率の方が1割ほど高くなっていた。

月別では、梅雨期の集中豪雨の長期増加傾向が顕著で、7月の発生頻度が45年間で約3.8倍(信頼水準95%以上)に増大していた(短時間大雨は約2.8倍)。8月には集中豪雨の増加傾向は見られず、要因としては大量の下層水蒸気の流入頻度が減ったことが考えられる。一方、短時間大雨の発生数は統計的には有意ではないが増加傾向を示し、要因としては気温上昇にとも

なう大雨をもたらす積乱雲の発生しやすい大気状態の出現頻度の増大が考えられる。9月では短時間大雨の発生数の増加傾向は小さく、これは8月のように大雨をもたらす積乱雲の発生しやすい大気状態の出現頻度増大が見られなかったのが要因だと考えられる。一方、集中豪雨の発生数は統計的には有意ではないが増加傾向を示した。

本研究では、梅雨期での集中豪雨発生数の顕著な増加傾向の要因については言及しなかった。その要因については、TK14により集中豪雨の多くが線状降水帯によることが示されており、線状降水帯の発生しやすい大気状態の経年変化を詳細に議論する必要がある。また、9月には大量の下層水蒸気の流入頻度に大きな変化がないことから、集中豪雨の発生頻度の増加については日本に接近・上陸する台風の移動速度が顕著に減少していることなどが考えられるが、線状降水帯に関する議論も含めて、改めて議論する必要がある。これらは今後の課題である。

#### 謝辞

気象研究所の廣川康隆氏と川瀬宏明氏、査読者の方および編集委員の藤部文昭氏には有意義なコメントをいただき感謝します。

#### 参考文献

- Berg, P., J. O. Haerter, P. Thejll, C. Piani, S. Hagemann and J. H. Christensen, 2009: Seasonal characteristics of the relationship between daily precipitation intensity and surface temperature. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **114**, D18102, doi:10.1029/2009JD012008.
- Fujibe, F., 2013: Clausius-Clapeyron-like relationship in multidecadal changes of extreme short-term precipitation and temperature in Japan. *Atmos. Sci. Lett.*, **14**, 127-132.
- Fujibe, F., 2015: Relationship between interannual variations of extreme hourly precipitation and air/sea-surface temperature in Japan. *SOLA*, **11**, 5-9.
- Fujibe, F., N. Yamazaki, M. Katsuyama and K. Kobayashi, 2005: The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years. *SOLA*, **1**, 41-44.
- Hatsuzuka, D., T. Sato and Y. Higuchi, 2021: Sharp rises in large-scale, long-duration precipitation extremes with higher temperatures over Japan. *npj Clim. Atmos. Sci.*, **4**, 29, doi:10.1038/s41612-021-00184-9.
- Hirsch, R. M., J. R. Slack and R. A. Smith, 1982: *Tech-*

- niques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resour. Res.*, **18**, 107-121.
- 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/known/expert/pdf/textbook\\_meso\\_v2.1.pdf](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/expert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf) (2021.8.3閲覧)
- Kato, T., 2018: Representative height of the low-level water vapor field for examining the initiation of moist convection leading to heavy rainfall in East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96**, 69-83.
- 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.
- 気象庁, 2021: 降水量の変動. 気候変動監視レポート2020, 33-37. [https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2020/pdf/ccmr2020\\_all.pdf](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2020/pdf/ccmr2020_all.pdf) (2021.8.3閲覧)
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.
- Lenderink, G. and E. van Meijgaard, 2008: Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nat. Geosci.*, **1**, 511-514.
- 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.
- Yamaguchi, M. and S. Maeda, 2020: Slowdown of typhoon translation speeds in mid-latitudes in September influenced by the Pacific Decadal Oscillation and global warming. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 1321-1334.

---

## Past 45 years' long-term trend of the occurrence frequency of heavy rainfall events in Japan extracted from three-hourly AMeDAS accumulated precipitation amounts

Teruyuki KATO\*

\* *Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052, Japan.*

(Received 19 August 2021; Accepted 30 November 2021)

### Abstract

Past 45 years' long-term trend of the occurrence frequency of heavy rainfall events (HREs) in Japan was examined. The HREs were extracted using a threshold value of 130mm for three-hourly accumulated precipitation amounts observed at 1178 AMeDAS stations between 1976 and 2020; AMeDAS is the Automated Meteorological Data Acquisition System operated by the Japan Meteorological Agency. We also compared the results with the trend of the occurrence frequency for hourly accumulated precipitation amounts (PIH) of 68mm or more, which was determined to correspond to the number of the extracted HREs. Annual change of the occurrence frequency for the HREs and  $PIH \geq 68\text{mm}$  showed a long-term increasing trend at a significant level of 1%, and the increase rate was higher by about 10% for the HREs than for  $PIH \geq 68\text{mm}$ . For monthly changes, a long-term increasing trend for the HREs was remarkable during the rainy season (June and July) in Japan, especially the long-term increase rate during 45 years in July reached about 3.8 times at a significant level of 5%; it was about 2.8 times for  $PIH \geq 68\text{mm}$ . In August no significant increasing trend was found for the HREs, but the frequency of  $PIH \geq 68\text{mm}$  increased. Conversely no increasing trend was found for  $PIH \geq 68\text{mm}$  in September, but the HREs became more frequent.