

## 降水連続日数と一雨降水量の細分階級図の経年変化 から見た日本の降水長期変化と気温変化

草 薙 浩\*

### 1. はじめに

降水連続日数と一雨降水量の細分階級から見た日本の降水長期変化の研究(草薙 2018 ; 以下「前報」)において、年降水量累年平均値の長期変化トレンドの細分階級図上で、分布を2分割する直線の左上側(短期間の強い降水)がトレンド正值を示す領域、右下側(長期間の弱い降水)がトレンド負値を示す領域に分かれることが見出された。

本調査ノートでは、降水量観測期間117年を12分割して、それぞれの年降水量累年平均値の細分階級図を計算し、細分階級図から得られる指標：中央値一雨量の117年間の経年変化から見た日本の降水長期変化と気温の変化との関係を調査した。さらに、細分階級図上の直線で分割された2領域と気温の変化との関係についても検討した。

### 2. 日降水量データと解析方法

#### 2.1 日降水量時系列データ

解析に用いる日降水量データは、気象庁が気候変動解析に用いている51観測地点(気象庁 2018a)について、解析期間を1901年から2017年までの117年間の42734日( $Q_i : i = 1 \sim 42734$ )とした。

#### 2.2 降水連続日数と一雨降水量の細分階級図の作成方法

本調査ノートでは、細分階級図から得られる中央値一雨量の経年変化を検討するために、降水量観測期間117年を10年ごとの1901-1910年、1911-1920年、1921-1930年、…、2001-2010年、2011-2017年の12に分けた

各期間について10年平均の年降水量累年平均値の細分階級図を作成した。10年平均の細分階級図を用いた理由は3.2節で述べる。

最初に、1901-1910年の年降水量累年平均値の細分階級図は以下の手続きで計算した。各観測地点の1901年1月1日から1910年12月31日の3652日に対応する日降水量時系列データ( $Q_i : i = 1 \sim 3652$ )を、前報の方法で階級別連続日数別時系列データ( $[q_{m,k}]_i$ )( $m$ は一雨降水量の  $m$  番目の階級、 $k$  は降水連続日数： $k = 1 \sim 42$ 、43日以上の降水連続日数の観測値はない、 $i = 1 \sim 3652$ )に分解した。一雨降水量の  $m$  番目の階級の範囲  $d_m$  は草薙 (2017) で用いた式 (1) で定義した。

$$d_m = (m + 1)^2 - m^2 \quad (1)$$

この  $[q_{m,k}]_i$  時系列の10年平均値を求めると観測期間が10年の階級別連続日数別の年降水量成分の累年平均値が得られる。さらに、51観測地点で平均すると全国平均の階級別連続日数別の年降水量の累年平均値  $[f_{m,k}]_{1901-1910}$  (以降  $f_{m,k,1}$  と記述する) が求まる。

つぎに、各観測地点の1911年1月1日から1920年12月31日の3653日に対応する日降水量時系列データ( $Q_i : i = 3653 \sim 7305$ )を用いて、同様にして階級別連続日数別の年降水量の累年平均値  $[f_{m,k}]_{1911-1920}$  (以降  $f_{m,k,2}$  と記述する) を計算した。

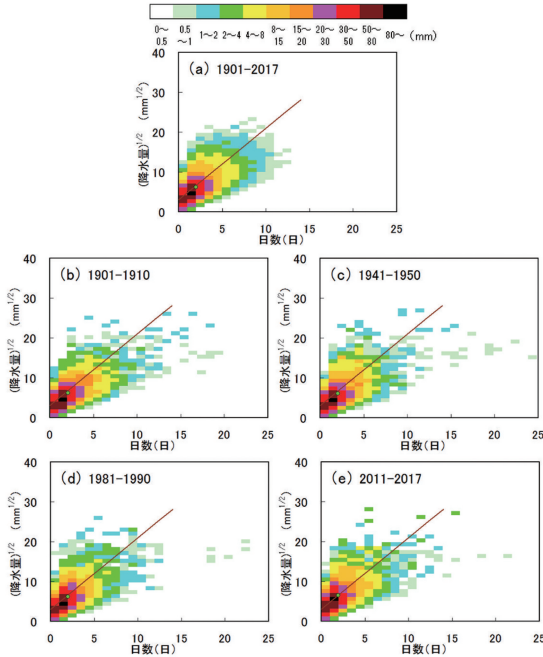
以下、同様に計算をし、最後に、各観測地点の2011年1月1日から2017年12月31日の2557日に対応する日降水量時系列データ( $Q_i : i = 40177 \sim 42734$ )を用いて、2011-2017年の階級別連続日数別の年降水量の累年平均値  $[f_{m,k}]_{2011-2017}$  (以降  $f_{m,k,12}$  と記述する) は7年間で平均して求めた。

各累年平均値、たとえば、 $f_{m,k,1}$  は、2次元マトリッ

\* Hiroshi KUSANAGI, 京都ウェザー研究会.

wrqgw841@yahoo.co.jp

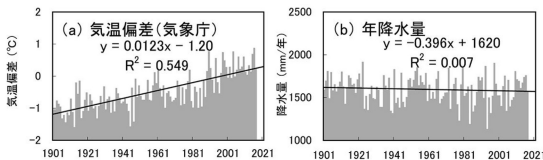
© 2018 日本気象学会



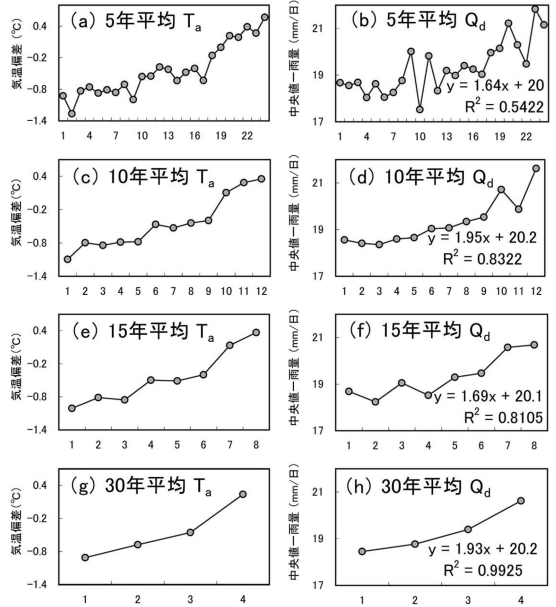
第1図 観測期間の異なる細分階級図(縦軸:一雨降水量, 横軸:降水連続日数).

第1表 観測期間の異なる細分階級図(10年平均)の年降水量, 日数中央値, 降水量中央値, 中央値一雨量.

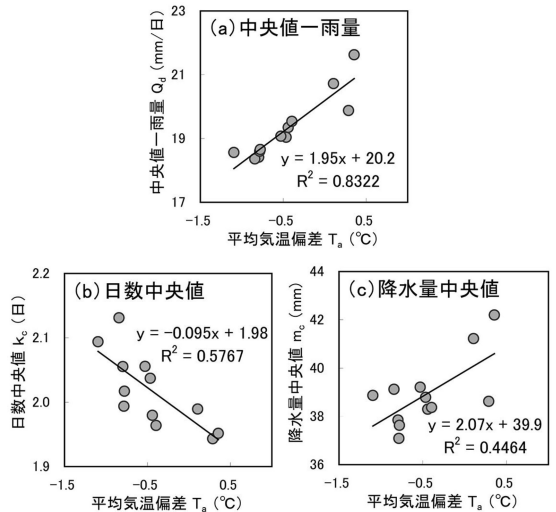
| 観測期間<br>(年) | 年降水量<br>(mm/年) | 細分階級図の分布中央値     |  |                   | 中央値一雨量<br>$Q_d$<br>(mm/日) |
|-------------|----------------|-----------------|--|-------------------|---------------------------|
|             |                | 日数 $k_c$<br>(日) | (降水量 $m_c$ ) <sup>1/2</sup><br>(mm) <sup>2/1</sup> | 降水量 $m_c$<br>(mm) |                           |
| 1901-1910   | 1651           | 2.09            | 6.23   | 38.9              | 18.6                      |
| 1911-1920   | 1654           | 2.06            | 6.15   | 37.8              | 18.4                      |
| 1921-1930   | 1572           | 2.13            | 6.25   | 39.1              | 18.4                      |
| 1931-1940   | 1535           | 1.99            | 6.09   | 37.1              | 18.6                      |
| 1941-1950   | 1571           | 2.02            | 6.13   | 37.6              | 18.7                      |
| 1951-1960   | 1698           | 2.04            | 6.23   | 38.8              | 19.0                      |
| 1961-1970   | 1571           | 2.06            | 6.26   | 39.2              | 19.1                      |
| 1971-1980   | 1591           | 1.98            | 6.19   | 38.3              | 19.3                      |
| 1981-1990   | 1530           | 1.96            | 6.19   | 38.4              | 19.5                      |
| 1991-2000   | 1567           | 1.99            | 6.42   | 41.2              | 20.7                      |
| 2001-2010   | 1555           | 1.94            | 6.21   | 38.6              | 19.9                      |
| 2011-2017   | 1683           | 1.95            | 6.50   | 42.2              | 21.6                      |
| 1901-2017   | 1596           | 2.01            | 6.23   | 38.9              | 19.4                      |



第2図 気温偏差(気象庁)と年降水量の経年変化.



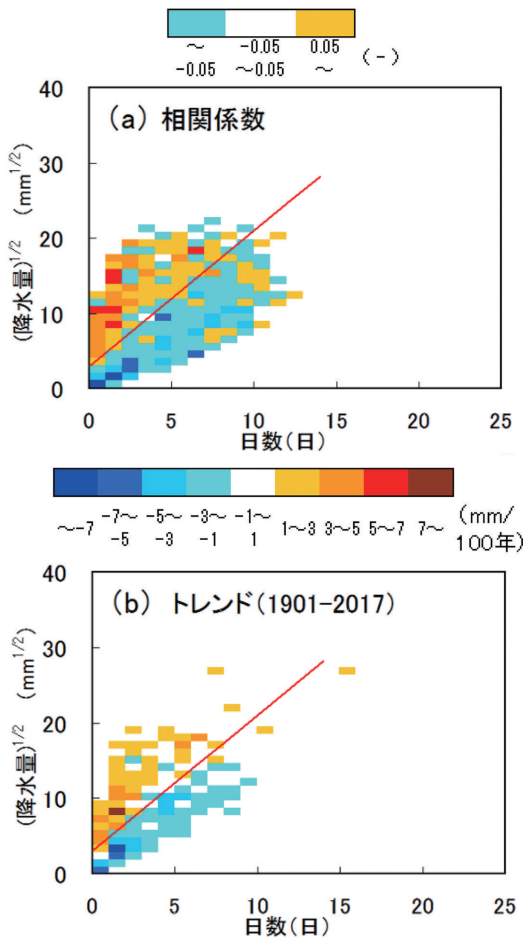
第3図 平均化期間を変えた気温偏差  $T_a$  (気象庁)と中央値一雨量  $Q_d$ の経年変化(横軸:1901年から2017年に対応). 平均化期間5年:(a)・(b), 10年:(c)・(d), 15年:(e)・(f), 30年:(g)・(h).



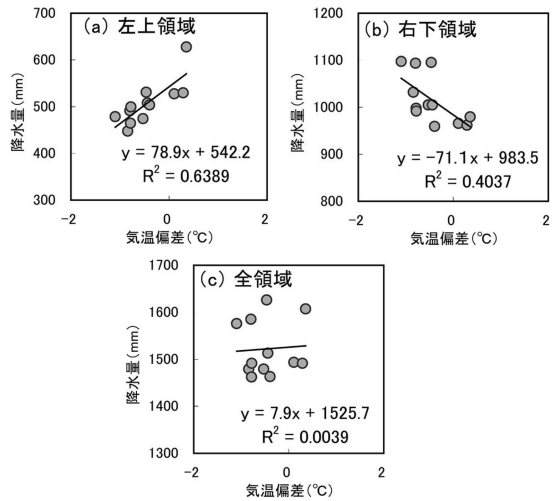
第4図 気温偏差(10年平均)と細分階級図中央値(10年平均)の相関.

第2表 観測期間の異なる気温偏差(10年平均), 細分階級図の要素降水量(10年平累積平均値), 2領域分割後の領域降水量.

| 観測期間<br>(年) | 気温            | 降水量                             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |                       | 左上<br>領域 | 右下<br>領域 | 全領域 |
|-------------|---------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|----------|----------|-----|
|             | 10年平均<br>気温偏差 | 階級別連続日数別の年降水量の累年平均値 $f_{m,k,p}$ |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |                       |          |          |     |
|             | $T_{a,p}$     | $f_{1,1,p}$                     | $f_{1,2,p}$ | $f_{2,1,p}$ | $f_{2,2,p}$ | $f_{2,3,p}$ | $f_{3,1,p}$ | $f_{3,2,p}$ | $f_{3,3,p}$ | $f_{3,4,p}$ | $f_{4,1,p}$ | $f_{4,2,p}$ | $f_{4,3,p}$ | $f_{4,4,p}$ | $f_{4,5,p}$ | 左<br>$\sum f_{m,k,p}$ |          |          |     |
| 1901-1910   | -1.10         | 26.2                            | 2.9         | 44.0        | 21.4        | 2.9         | 59.1        | 51.4        | 12.7        | 3.0         | 58.8        | 78.0        | 25.9        | 9.5         | 3.0         | 478                   | 1097     | 1576     |     |
| 1911-1920   | -0.80         | 25.5                            | 2.8         | 45.3        | 21.3        | 2.7         | 55.2        | 53.4        | 13.0        | 3.5         | 59.7        | 79.9        | 26.6        | 9.5         | 2.6         | 491                   | 1094     | 1585     |     |
| 1921-1930   | -0.84         | 26.9                            | 2.4         | 44.6        | 21.3        | 3.1         | 57.0        | 47.6        | 12.1        | 3.5         | 59.5        | 67.8        | 23.3        | 8.3         | 2.7         | 447                   | 1032     | 1479     |     |
| 1931-1940   | -0.78         | 25.9                            | 2.6         | 44.1        | 20.1        | 3.2         | 57.5        | 47.3        | 12.8        | 2.8         | 61.4        | 69.9        | 26.5        | 9.6         | 3.4         | 465                   | 998      | 1462     |     |
| 1941-1950   | -0.78         | 25.7                            | 2.6         | 42.5        | 20.4        | 3.1         | 56.7        | 45.5        | 11.9        | 2.9         | 60.5        | 71.6        | 25.9        | 8.2         | 2.8         | 500                   | 992      | 1491     |     |
| 1951-1960   | -0.46         | 24.9                            | 2.6         | 45.8        | 21.4        | 2.8         | 61.8        | 50.2        | 13.0        | 2.8         | 63.3        | 79.5        | 24.8        | 9.7         | 2.5         | 531                   | 1095     | 1626     |     |
| 1961-1970   | -0.53         | 25.1                            | 2.7         | 44.4        | 20.3        | 3.0         | 57.8        | 49.0        | 11.8        | 2.6         | 62.0        | 72.5        | 21.9        | 8.7         | 2.9         | 474                   | 1005     | 1479     |     |
| 1971-1980   | -0.44         | 21.6                            | 2.5         | 41.4        | 20.0        | 2.5         | 57.2        | 46.5        | 10.9        | 2.9         | 64.1        | 73.4        | 24.9        | 7.2         | 2.9         | 508                   | 1005     | 1513     |     |
| 1981-1990   | -0.40         | 21.8                            | 2.6         | 41.5        | 19.7        | 2.9         | 56.0        | 48.0        | 12.1        | 2.4         | 59.0        | 69.4        | 24.2        | 8.1         | 2.8         | 504                   | 959      | 1463     |     |
| 1991-2000   | 0.11          | 22.1                            | 2.7         | 41.7        | 19.0        | 2.9         | 56.7        | 46.1        | 11.8        | 2.7         | 60.4        | 67.3        | 23.0        | 8.7         | 2.9         | 528                   | 966      | 1493     |     |
| 2001-2010   | 0.29          | 22.1                            | 2.8         | 41.8        | 18.8        | 2.5         | 57.5        | 44.5        | 10.7        | 2.9         | 60.3        | 68.2        | 21.9        | 8.8         | 2.1         | 530                   | 962      | 1491     |     |
| 2011-2017   | 0.35          | 21.8                            | 2.5         | 40.4        | 18.3        | 2.8         | 56.4        | 45.4        | 10.5        | 3.1         | 61.1        | 71.7        | 22.1        | 8.0         | 2.6         | 628                   | 980      | 1607     |     |
| 117年間平均     | -0.45         | 24.1                            | 2.6         | 43.1        | 20.2        | 2.9         | 57.4        | 47.9        | 11.9        | 2.9         | 60.8        | 72.4        | 24.3        | 8.7         | 2.8         | 507                   | 1015     | 1522     |     |
| 相関係数        | 1.00          | -0.82                           | -0.03       | -0.68       | -0.88       | -0.52       | -0.14       | -0.63       | -0.74       | -0.22       | 0.18        | -0.44       | -0.74       | -0.34       | -0.54       | 0.799                 | -0.635   | 0.062    |     |



第5図 相関係数と降水量トレンドの細分階級図。2領域分割の直線を赤線で示す。



第6図 10年平均気温偏差と2分割後の降水量の相関。(a) 左上領域, (b) 右下領域, (c) 全領域。

クス ( $37 \times 42 = 1554$ 要素) の  $m$  行  $k$  列番目の要素になっているので、縦軸をマトリックスの行に、横軸を列に取った2次元分布図で表示することができる。そこで、 $f_{m,k,1}$ を縦軸は降水量の1/2乗に、横軸は日数にとった細分階級図を作成した。

### 3. 細分階級図の経年変化から見た日本の降水長期変化と気温変化

#### 3.1 細分階級図上の指標：中央値一雨量の経年変化

2.2節の方法で計算した階級別連続日数別の年降水量の累年平均値（以降、降水量成分と記述する） $f_{m,k,p}$  ( $m = 1 \sim 37, k = 1 \sim 42, p$  は1901年から10年ごとの12の観測期間に付けた番号： $p = 1 \sim 12$ )の一部について、縦軸は降水量の1/2乗に、横軸は日数にとった細分階級図にして第1図b, c, d, eに示す。前報と同様に細分階級図は11段階の色目盛りで塗り分けて表示した。第1図aの $[f_{m,k}]_{1901-2017}$ （観測期間117年）と比較して、第1図b, c, d, eは観測期間が7~10年と短く平均化が不十分のため細分階級図は少降水~2mmを示す水色が広範囲に点在して分布している。それ故、4つの図では系統的な変化を見出すことができない。そこで、草薙(2017)が定義した細分階級図から導かれる指標：中央値一雨量 $Q_d$  (mm/日) (=降水量中央値 $m_c$ /日数中央値 $k_c$ )を細分階級図について計算して系統的な変化がないか調べた(第1表)。

細分階級図を日数軸へ投影した中央値を表す日数中央値 $k_c$ は、1901-1910年の2.09(日)から2011-2017年の1.95(日)まで増減はあるが減少傾向が見られる(1次回帰式の決定係数 $R^2 = 0.676$ )。一方、降水量中央値 $m_c$ は、38.9mmから42.2mmまで変動の大きい増加傾向を示す。また、降水量中央値 $m_c$ と日数中央値 $k_c$ から計算する中央値一雨量指標 $Q_d$  (=  $m_c/k_c$ )でも、途中の増減はあるが18.6(mm/日)から21.6(mm/日)まで増加傾向を示すことがわかる。中央値一雨量指標 $Q_d$ は降水量中央値 $m_c$ と日数中央値 $k_c$ の比をとることによって日数中央値 $k_c$ より増減幅が小さくなっている(1次回帰式の決定係数 $R^2 = 0.780$ )。中央値一雨量指標 $Q_d$ は定義より1日あたりの降水量の目安となる指標で、1次回帰を適用すると100年あたりで2.4mm/日、割合では12.4%/100年(=  $2.4/19.3 \times 100$ )の増加であった。

1901年から2017年まで、降水連続日数の減少と一雨降水量の増加という雨の降り方の変化があったため中

央値一雨量指標 $Q_d$ が増加したことが明らかになった。

#### 3.2 中央値一雨量指標の増加傾向と気温上昇

1901年から2017年の117年間で長期的な気温の上昇が観測されている(気象庁2018b;環境省ほか2018)。そこで、前節で明らかになった中央値一雨量指標 $Q_d$ の長期的な増加傾向が気温の上昇と関係があるかを調べた。

気象観測所の中から、都市化による影響が少なく、特定の地域に偏らないように選定された15地点の1901年から2017年までの月平均気温により計算された、気温偏差(気象庁2018b)を第2図a(1981-2010年の平均気温に対する偏差)に示す。ただし、地点移転の影響の補正は行っていない。第2図bの年降水量は1次回帰式より100年あたり39.6mmの減少傾向を示すが統計的な有意性は認められない。一方、気温偏差には100年あたり1.2°Cの統計的に5%水準で有意な気温上昇が認められる。

日々や季節ごとで大きな変動のある気温や降水について、年単位で統計的に有意な情報を得るためには複数年の平均化が必要と考えられる。ここでは、5年平均から30年平均まで4種類の平均を試みた。第2図aの気温偏差について、1901年から5年ごとに2017年まで平均気温偏差を計算した24個の平均値 $T_a$ を第3図a(但し、24番目のデータ点は2016-2017年の2年平均)に示す。同様に、10年ごとに平均気温偏差を計算した12個の平均値 $T_a$ を第3図c(12番目のデータ点は2011-2017年の7年平均)、15年ごとに平均気温偏差を計算した8個の平均値 $T_a$ を第3図e(8番目のデータ点は2006-2017年の12年平均)、30年ごとに平均気温偏差を計算した4個の平均値 $T_a$ を第3図g(4番目のデータ点は1991-2017年の27年平均)に示す。5年平均では第2図aの気温偏差の年々の変化もよく反映している。30年平均では単調増加を示し年々変化の情報は完全に失われている。本調査ノートでは、2000年以降の気温上昇の停滞がグラフに反映されている10年平均偏差 $T_a$ を用いて解析を進める。

第1表の12個の中央値一雨量指標の平均値 $Q_d$ を第3図dに示す。10年平均の細分階級図と同様の方法で5年平均から求めた中央値一雨量指標の24個の平均値 $Q_d$ 、15年平均の8個の平均値 $Q_d$ 、30年平均の4個の平均値 $Q_d$ を第3図b, f, hに示す。平均化期間が短いほど元の降水量の年々の変化を反映できるが、その反面、5年平均では平均化期間が短すぎて第1図に対応する細分階級図から計算した中央値一雨量指標

$Q_d$ の経年変化の変動が大きい(第3図b)。そこで、本調査ノートでは気温偏差の計算結果とあわせて平均化期間は10年平均を採用して今後の検討を進めることとした。

第3図の4種類の平均化期間について、気温偏差  $T_a$ と中央値一雨量指標  $Q_d$ の経年変化の様子はかなり似ていると見ることができる。気温と降水では気象観測地点の数に違いはあるがどちらも地域が偏らないように選定されている。そこで、気温偏差  $T_a$ と中央値一雨量指標  $Q_d$ の関係を調べるため、第1表の中央値一雨量指標  $Q_d$ の12個のデータを縦軸に、平均気温偏差の対応する12個のデータ(第3図c)を横軸にとった散布図を第4図aに示す。すると、中央値一雨量指標  $Q_d$ と気温偏差  $T_a$ の相関係数は  $r=0.9123$  ( $R^2=0.8322$ )と大きな値が得られ両者の間に強い相関のあることが示された。一方、日数中央値  $k_c$ および降水量中央値  $m_c$ と平均気温偏差との相関係数は、 $r=0.7594$  ( $R^2=0.5767$ ) および  $r=0.6681$  ( $R^2=0.4464$ )と少し小さな値であった。

降水量中央値  $m_c$ と日数中央値  $k_c$ の2つの変数を使って指標化した中央値一雨量指標  $Q_d$ によって平均気温偏差と強い相関関係を示す結果が得られた。ただし、中央値一雨量指標と平均気温偏差というトレンドを持つ量同士の相関なので、必ずしも両者の因果関係を示すものでない。

### 3.3 降水量の長期変化と気温の長期変化

1日あたりの降水量の目安となる中央値一雨量指標  $Q_d$ の過去117年間の増加傾向が気温上昇と強い相関関係を示す結果が得られた。ここでは、指標ではなく降水量そのものと気温上昇の関係について調べた。

降水量成分  $f_{m,k,p}$  ( $m=1\sim 37$ ,  $k=1\sim 42$ ,  $p=1\sim 12$ )は全部で1554要素(=37行×42列)あるが、その一部を第2表3列から16列に示す。これらの降水量成分  $f_{m,k,p}$ と気温偏差  $T_{a,p}$  ( $p=1\sim 12$ , 第2表2列目)の相関係数を計算した結果を第2表の同じ列の最下段に示す。相関係数は正値と負値が混在していることが分かる。また、全1554要素の相関係数の値を細分階級図にして第5図aに示す。第5図bには、1901-2017の117年間について前報の方法で計算した降水量トレンドの細分階級図を示す。第5図aとbの正値(黄色系)と負値(青色系)の分布の様子から、2つの細分階級図は前報と同じ式:  $y=1.8x+3.0$ で表す直線で2領域分割できると判断して図中に直線を加えた。直線の左上側の短期間の強い降水領域は日数中央

値1.74日と降水量中央値8.92 mmなので、右下側の長期間の弱い降水領域の日数中央値2.26日と降水量中央値5.04 mmと比較して、日数中央値は0.77倍(=1.74/2.26)、降水量中央値は1.77倍(=8.92/5.04)であった。

相関係数の細分階級図が降水量トレンドと同じ直線で2領域分割できることに着目して、直線の左上領域と右下領域に含まれる降水量成分  $f_{m,k,p}$ を積算した合計値を第2表の右から3行目と2行目に示す。左上領域積算値  $\Sigma f_{m,k,p}$ と右下領域積算値  $\Sigma f_{m,k,p}$ と2列目の気温偏差  $T_{a,p}$ の関係を散布図にして第6図aとbに示す。すると、降水量成分  $f_{m,k,p}$ と気温偏差  $T_{a,p}$ との相関係数は、左上領域が  $r=0.7993$  ( $R^2=0.6389$ )と計算されかなり強い正相関、右下領域が  $r=-0.6354$  ( $R^2=0.4037$ )と少し弱い負相関の関係にあることが分かった。ここでの相関係数についても、降水量成分と平均気温偏差というトレンドを持つ量同士の相関であり、必ずしも両者の因果関係を示すものでないことには留意が必要である。一方、全領域では  $r=0.0625$  ( $R^2=0.0039$ )と無相関である。第6図aの回帰式から左上領域の短期間の強い降水は気温が1°C上昇すると78.9 mm (14.8%)増加する。一方、右下領域の長期間の弱い降水は気温が1°C上昇すると71.1 mm (6.7%)減少する(第6図b)。短期の強い降水の増加と長期の弱い降水の減少が拮抗したため第2図bの年降水量の長期変化に有意な傾向が認められなくなったと判断できる。

Fujibe (2015)は、1979-2013年の35年間について、アメダス983地点の1時間降水量の年最大値(年最大1時間降水量)の観測データから、年最大1時間降水量は気温1°Cあたり8.7%増加していると報告している。観測期間と降水観測時間スケールに違いはあるが、本研究でも比率にして10%前後の降水増加が示され、Fujibeの研究と符合する結果が得られた。

## 4. おわりに

細分階級図の全領域(年降水量)では気温上昇との相関が見られないが、細分階級図を直線で2領域分割すると、左上の短期間の強い降水(一雨降水の平均日降水量が多いイベント群)は気温上昇と正相関、右下の長期間の弱い降水(一雨降水の平均日降水量が少ないイベント群)は気温上昇と負相関することが明らかになった。さらに、これら一雨降水の平均日降水量の多寡で2つに分類した降水イベント群について、それ

ぞれ降水量の年間総和の51地点平均値を求め、1901年から2017年の117年間の変化傾向と、対応する気温の変化との関係を調べたところ、必ずしも因果関係を示すものではないが、前者は気温が1°C上昇すると78.9 mm (14.8%) 増加し、後者は気温が1°C上昇すると71.1 mm (6.7%) 減少する結果が得られた。

### 謝 辞

本調査ノートをまとめるにあたり、編集委員の青柳曉典氏から貴重なコメントとご助言を頂きましたことに心より御礼申し上げます。

### 参 考 文 献

環境省, 文部科学省, 農林水産省, 国土交通省, 気象庁,  
2018: 気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート

～日本の気候変動とその影響～. 28-29, [http://www.env.go.jp/earth/tekiou/report2018\\_full.pdf](http://www.env.go.jp/earth/tekiou/report2018_full.pdf) (2018.8.20閲覧).

気象庁, 2018a: 過去の気象データ・ダウンロード. <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2018.3.10閲覧).

気象庁, 2018b: 日本の年平均気温の偏差の経年変化. [http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an\\_jpn.html](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html) (2018.6.19閲覧).

草薙 浩, 2017: 階級別一雨降水量と降水連続日数からみた日本の降水特性の地域性. 天気, 64, 513-517.

草薙 浩, 2018: 降水連続日数と一雨降水量の細分階級から見た日本の降水長期変化. 天気, 65, 181-184.

Fujibe, F., 2015: Relationship between interannual variations of extreme hourly precipitation and air/sea-surface temperature in Japan. SOLA, 11, 5-9.