

降水連続日数と一雨降水量から見た日本の降水特性の長期変化

草 薙 浩*

要 旨

降水連続日数と降水継続期間の総降水量（以下では一雨降水量という）に基づいて、日本の降水の長期変化を検討した。降水連続日数については1日から42日までの42段階を設定し、一雨降水量については5階級を設定して、2つの指標を組み合わせた解析を行った。1901年から2016年の116年間で、51観測地点平均の年総降水量には統計的に有意な経年変化は認められない。しかし、この解析により5%水準で有意な経年変化を示す組合せが得られた。たとえば、1-10 mm 階級の1-2日連続降水は有意に減少し、その長期変化率は-12.9 mm/100年であった。一方、60-200 mm 階級の1-2日連続降水は増加(+34.7 mm/100年)していたが、同じ降水階級の3-13日連続降水は減少(-47.5 mm/100年)していた。すなわち、同じ降水階級であっても、時間スケールが変わると、長期変化率の符号が逆転する可能性があることが明らかになった。さらに、日降水量の季節変化の長期変化についても検討した。200-500 mm 階級の降水は、2日連続降水の6-8月に、6日連続降水では6-7月(梅雨)と9月(秋霖)に増加していることが示された。

1. はじめに

日本の気候変動の将来予測をする基礎資料として、年降水量など降水特性の過去の長期変化に関する研究は重要である。主なものとして、全国規模の長期変化を扱った研究(Fujibe *et al.* 2005, 2006a,b; Fujibe 2008; 田中 2015)、また、長期変化の地域性と季節性を扱った研究(Oguchi and Fujibe 2011; 瓜田・松山 2012)などがある。さらには、観測期間は短いもののAMeDAS観測網による多くの観測地点によるもの(Iwasaki and Sunaga 2009; 杉田・大河内 2012)もある。そのうち、全国規模の長期変化について、藤部(2011)は、1901-2009年のデータの解析から日本では過去1世紀に強い降水が増え、弱い降水は減る傾向にあると報告している。「気候変動の観測・予測及び環

境影響評価統合レポート」(文部科学省ほか 2013)では、日降水量100 mm以上と日降水量200 mm以上の日数に有意な増加傾向が見られ、それぞれ0.25日/100年と0.04日/100年の割合で増加していると報告されている。

雨の強弱の目安としては、しばしば1時間降水量が使われる(気象庁 2000)。一方で、平成26年8月豪雨(気象庁 2014)による広島市の土砂災害では、20日未明の短時間豪雨とともに前日までの19日間に降った264.5 mm(観測地点は三入)の雨で地盤の緩みが進行していたと推定されている。それ故、24時間雨量や48時間雨量など数日間降り続く長時間雨量も大切な気象情報と考えられる(草薙 2017)。そこで、草薙(2016)の日降水量時系列を連続日数別時系列に分解する手法を用い、1日から数日以上長期降水に注目して、降水の強さ別に降水特性の長期変化について検討した。

* 京都ウェザー研究会、
wrqgw841@yahoo.co.jp

—2017年3月2日受領—

—2017年9月30日受理—

2. 日降水量時系列データと解析方法

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、気象庁が公開している「過去の気象データ・ダウンロードサイト」(<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>) から入手した (最終閲覧2017年1月8日)。解析対象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 2017)、解析期間は1901年1月1日から2016年12月31日までの42369日 ($Q_i: i=1 \sim 42369$) とした。

2.2 日降水量時系列 (Q_i) の連続日数別時系列 ($q_{k,i}$) への分解方法

本研究では、一雨 (降水連続日数) の長さを日降水量 1 mm 以上の連続日数と定義する。この定義は、1 日の中で起きる降水の中断を捉えられないという問題や異なる降水現象によって見かけ上連続しているデータを取り扱っている問題がある。実際、1 時間降水量等に基づく一雨降水の定義 (気象庁 2005) もある。しかし、気候変動の研究に使われる尺度の中には、日降水量を使って降水の連続性を定義したものもある。例えば、CDD (Consecutive dry days 最大連続無降水日数: 日降水量が連続して 1 mm 未満となる日数) や CWD (Consecutive wet days 最大連続降水日数: 日降水量が連続して 1 mm 以上となる日数) が世界的にも用いられており (気象庁 2015)、これを極端降水指標とする日降水量を用いた気象研究がなされている (Kamiguchi *et al.* 2006, 2011; 楠 2012)。

これらの研究では、降水の有無のしきい値としてはしばしば日降水量 1 mm という尺度が用いられてきた。气象台等の日降水量観測値の最小単位は、1968年1月1日に0.1 mm から0.5 mm に変更されているが、降水日数を「1 mm 以上の日」とする定義 (気象庁 2015) が標準的に使われているため、本研究でもこの定義に従った。

各観測地点の日降水量時系列 ($Q_i: i=1 \sim 42369$) の1901年から2016年までの全42369日の内、1.0 mm 以上の降水量観測値の記録されている日数について調べると、降水がある1日だけに見られ前後の日には見られないケース、降水が2日続くケース、…など、降水日の連続性は様々である。そこで、降水日の連続性が1日だけのケースを残し、それ以外の日を0 mm とした時系列を作りこれを1日成分時系列 ($q_{1,i}: i=1 \sim 42369$) と定義する。同様にして、降水日の連続性が k 日のケースについて k 日成分時系列 ($q_{k,i}$) を定義

した。以降、(Q_i) を全日降水量時系列と定義すると、(Q_i) と連続日数別時系列 ($q_{k,i}$) の関係は式 (1) で表せる。ただし、 $k=1 \sim 42$ であり、降水が43日以上連続するケースはない。

$$\begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ \vdots \\ Q_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{1,1} \\ q_{1,2} \\ q_{1,3} \\ q_{1,4} \\ q_{1,5} \\ \vdots \\ q_{1,n} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} q_{2,1} \\ q_{2,2} \\ q_{2,3} \\ q_{2,4} \\ q_{2,5} \\ \vdots \\ q_{2,n} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} q_{3,1} \\ q_{3,2} \\ q_{3,3} \\ q_{3,4} \\ q_{3,5} \\ \vdots \\ q_{3,n} \end{pmatrix} + \cdots + \begin{pmatrix} q_{k,1} \\ q_{k,2} \\ q_{k,3} \\ q_{k,4} \\ q_{k,5} \\ \vdots \\ q_{k,n} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ただし、 $n=42369$

式 (1) の左辺から右辺への分解過程は前報 (草薙 2016) で用いたのと同じ手続きである。日降水量データの欠損の49.8% ($=1,793 \text{日} / 3,599 \text{日} \times 100$) は1940年代の那覇観測地点であり、欠損割合 v (%) は51観測地点平均で0.17% ($=3,599 \text{日} / (51 \times 42369 \text{日}) \times 100$) と小さいので、計算結果に与える影響は少ないと判断して欠損日は降水なしとして取り扱った。

以上より、式 (1) の左辺から年総降水量の長期変化を、右辺から階級別連続日数別年降水量の長期変化を知ることができる (3.2節)。

2.3 全日降水量時系列 (Q_i) の階級別連続日数別時系列 [$q_{k,i}$]_{階級} への分解方法

本研究で扱う一雨降水量は1 mm から1306 mm (高知観測地点) の範囲に及ぶ。しかし、より少ない階級区分で長期変化の様子を表現できるよう、階級数や階級幅の取り方に試行を繰り返して5階級の区分 (1-10 mm, 10-60 mm, 60-200 mm, 200-500 mm, 500 mm 以上の各階級) を設定した。ここで、1-10 mm 階級とは、一雨降水量が1 mm 以上から10 mm 未満の観測データを含む時系列のことである。

以下に、階級別連続日数別時系列 [$q_{k,i}$]_{階級} を求める方法を述べる。

1-10 mm 階級の降水 k 日連続日数時系列 [$q_{k,i}$]_{1-10 mm} は、 k 日間の一雨降水量が1 mm 以上10 mm 未満の事例のみで定義される。すなわち、式 (1) について、 k 日連続成分時系列 ($q_{k,i}$) を求める際に一雨降水量 (k 日の日降水量の合計) が1 mm 以上10 mm 未満のケースのみを残し、10 mm 以上のケースを0 mm とすることによって得ることができる。したがって、 $[q_{k,i}]_{1-10 \text{ mm}}$ を式で表すと、式 (2)

の右辺になり、右辺の $[q_{k,i}]_{1-10 \text{ mm}}$ を統合して作った左辺の時系列を 1-10 mm 階級時系列と称し $[Q_i]_{1-10 \text{ mm}}$ で表す。式 (2) の左辺から右辺への分解過程は前報 (草薙 2017) で用いたのと同じ手続きである。

$$\begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ \vdots \\ Q_n \end{pmatrix}_{1-30 \text{ mm}} = \begin{pmatrix} q_{1,1} \\ q_{1,2} \\ q_{1,3} \\ q_{1,4} \\ q_{1,5} \\ \vdots \\ q_{1,n} \end{pmatrix}_{1-30 \text{ mm}} + \begin{pmatrix} q_{2,1} \\ q_{2,2} \\ q_{2,3} \\ q_{2,4} \\ q_{2,5} \\ \vdots \\ q_{2,n} \end{pmatrix}_{1-30 \text{ mm}} + \begin{pmatrix} q_{3,1} \\ q_{3,2} \\ q_{3,3} \\ q_{3,4} \\ q_{3,5} \\ \vdots \\ q_{3,n} \end{pmatrix}_{1-30 \text{ mm}} + \dots + \begin{pmatrix} q_{k,1} \\ q_{k,2} \\ q_{k,3} \\ q_{k,4} \\ q_{k,5} \\ \vdots \\ q_{k,n} \end{pmatrix}_{1-30 \text{ mm}} \quad (2)$$

他の階級についても 1-10 mm 階級と同様にした。

以上の手順により式 (2) の左辺から階級別年降水量の長期変化が、式 (2) の右辺から階級別連続日数別年降水量の長期変化を知ることができる (3.2, 3.3 節)。

2.4 階級別の日降水量 $[D_i]_{\text{階級}}$ と階級別連続日数別の日降水量 $[d_{k,i}]_{\text{階級}}$ の計算

式 (2) の左辺の $([Q_i]_{1-10 \text{ mm}} : i = 1 \sim 42369)$ を観測期間の116年で、365日ある暦日ごとに、平均して1年間 (閏年の2月29日を除く365日) の値を得た。つぎに、1年間 (365日) の値を、気象庁による年平値の計算方法と同じ9日間移動平均を3回繰り返すKZフィルター法 (草薙 2016, 2017) で、116年平均

日降水量 $([D_i]_{1-10 \text{ mm}} : i = 1 \sim 365)$ を計算した。

その他の階級別の116年平均日降水量 $([D_i]_{\text{階級}} : i = 1 \sim 365)$ と各階級の k 日連続の116年平均日降水量 $([d_{k,i}]_{\text{階級}} : i = 1 \sim 365, k = 1 \sim 42)$ もこれと同様の手続きで計算した。これは地点ごとの季節変化を示しているが、本研究では51観測地点で平均して日本全体の季節変化を考察した (3.5節)。

式 (1) による解析方法の妥当性を検証するため、2016年までの116個の年総降水量データ (51観測地点平均) と気象庁の「日本の年平均降水量偏差」データ (気象庁 2017) の相関を第1図に示す。相関係数 $r = 0.997$ が得られ、以降の検討を進める精度が得られていると判断した。回帰直線から下方へ乖離の大きな4個のデータ点 (A から D は1945年から1948年に対応) は、これらの期間に欠損が集中しているため本研究の降水量値が小さくなっているためと考えられる。

3. 降水連続日数と一雨降水量から見た日本の降水長期変化

3.1 年降水日数と年総降水量の長期変化

日降水量時系列 (Q_i) (式 (1) の左辺) から計算された51観測点平均の年降水日数と年総降水量の経年変化を第2図に示す。第2図aの回帰直線から、日降水量1.0 mm以上の年間日数は -9.5 日/100年の減少傾向で、気象庁 (2016) による1901年から2015年までの報告値 -10.0 日/100年とほぼ一致する。第2図bの回帰直線から年総降水量1596 mm (51観測地点平均) の長期変化率 (以下トレンドと記す) は、 -39.9 mm/100年、割合では、 -2.5% /100年と計算される。

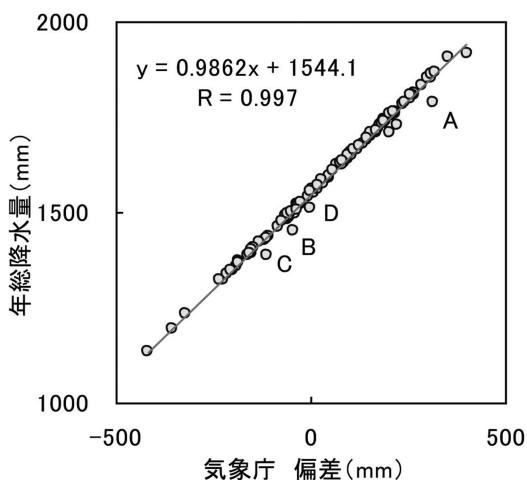
年降水日数と年総降水量のトレンドの信頼性について、 t 検定を適用した結果、年降水日数のトレンド -9.5 日/100年は、有意水準5%で有意であり、年総降水量のトレンド -39.9 mm/100年は有意水準10%でも統計的に有意ではなかった。

3.2 降水連続日数指標による長期変化

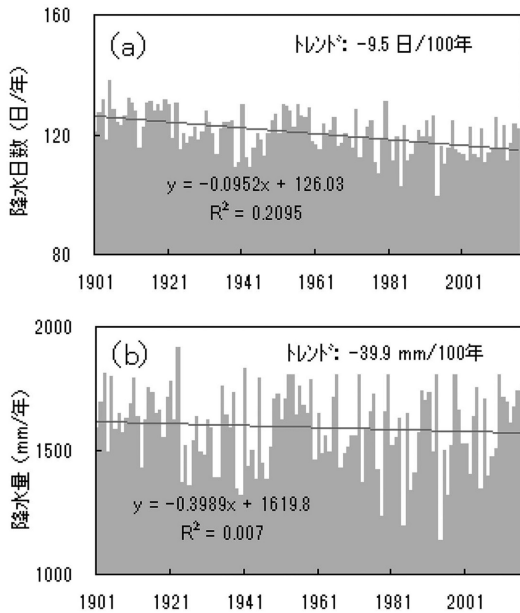
1日降水、2日連続降水など降水連続日数から見た長期変化を調べた。

式 (1) の右辺の $(q_{k,i})$ 時系列から得られる連続日数別の経年変化 (51観測地点平均) の一部を第3図に示す。第2図aの年降水日数と比較して、降水量の年毎の変動の大きいことがわかる。経年変化から計算した年総降水量の連続日数別値 Q_k とトレンド T_k を第1表に示す ($k = 1 \sim 42$)。

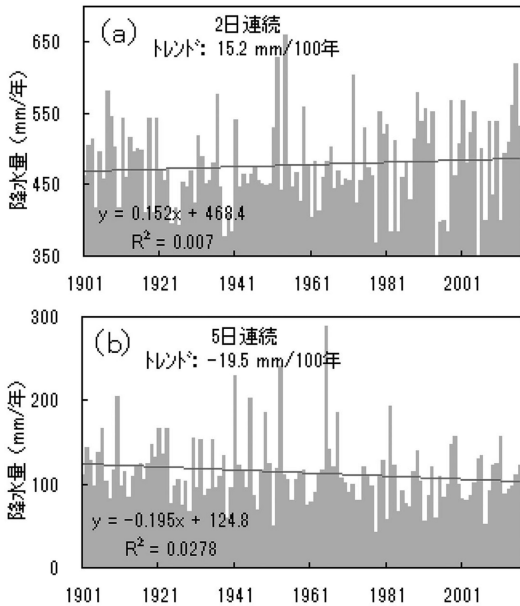
トレンド T_k を縦軸に、横軸に期間を取って、第4



第1図 年総降水量と年降水量偏差 (気象庁) の関係。図中のAからDは1945年から1948年のデータ。



第2図 降水経年変化。(a) 年降水日数 (5%水準で有意), (b) 年総降水量 (10%水準の有意性なし)。



第3図 年総降水量の連続日数別の経年変化。(a) 2日連続降水量 (10%水準の有意性なし), (b) 5日連続降水量 (10%水準で有意)。

図に示す, 10%水準で有意なトレンドが, 3つ (5日, 10日, 12日連続) のみで確実なことは言えない。しかし, 全体的に見ると, 1-2日連続降水の増加が見られる一方, 3日連続以上の降水の減少, 特に5日から10日の長期降水の減少が顕著であり, このことが年総降水量の減少に寄与したと推論される。

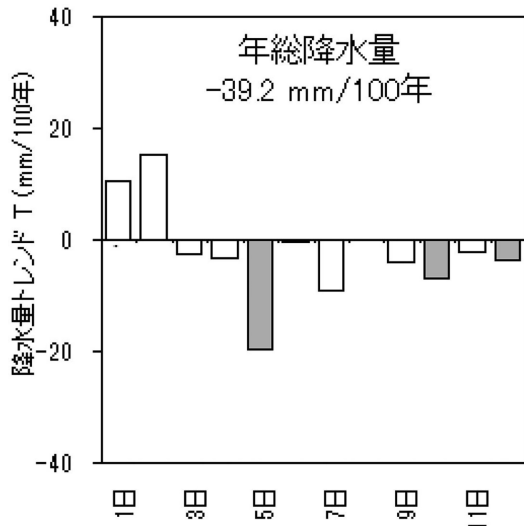
以上, 一雨降水量を考慮しない降水連続日数指標の解析から過去116年の変化では, 長期間の降水量が減少する一方で, 短期降水の増加が示唆された。これを手掛かりにして以降の解析を進めた。

3.3 階級別一雨降水量指標から見た長期変化

2.3節で定義した, $[Q_i]_{階級}$ を用いて計算した年総降水量の階級別値の経年変化 (51観測地点平均) の一部を第5図に示す。第3図と同様, 一雨降水量という1つの指標のみによる経年変化では決定係数の小さいことがわかる (第5図a: $R^2=0.0279$, 第5図b: $R^2=0.0162$)。経年変化から求めた年総降水量の階級別値 $Q_{階級}$ とトレンド $T_{階級}$ を, 年間の一雨降水イベントの回数 n_r ・ 平均一雨降水量 $Q_s (= Q_r/n_r)$ ととも

第1表 連続日数別の降水量・降水回数・トレンド。背景が灰色のトレンド値は10%水準で有意を示す。

| 観測期間 | 1901-2016 | | | |
|--------|-----------------|-------------------|-----------------------|-------|
| | 降水量 Q_i mm | 降水回数 n_r 回/年 | トレンド T_i mm/100年 | |
| 年総降水量 | 1596 | 61 | -39.9 | |
| 降水連続日数 | 1日 | 317 | 30 | 11.0 |
| | 2日 | 478 | 18 | 14.5 |
| | 3日 | 280 | 7 | -2.4 |
| | 4日 | 172 | 3 | -3.8 |
| | 5日 | 113 | 1.5 | -19.5 |
| | 6日 | 74 | 0.8 | -0.1 |
| | 7日 | 50 | 0.4 | -9.4 |
| | 8日 | 34 | 0.2 | 0.2 |
| | 9日 | 22 | 0.2 | -4.3 |
| | 10日 | 16 | 0.1 | -6.7 |
| | 11日 | 10 | 0.1 | -2.1 |
| | 12日 | 7.0 | 0.04 | -3.6 |
| | 13日 | 5.4 | 0.03 | -2.0 |
| | 14日 | 3.2 | 0.02 | -2.6 |
| | 15日 | 2.1 | 0.01 | -1.4 |
| | 16日 | 2.6 | 0.01 | -1.4 |
| | 17日 | 1.7 | 0.01 | -1.7 |
| | 18日 | 1.1 | 0.01 | -0.9 |
| | 19日 | 1.5 | 0.01 | 0.3 |
| | 20日 | 1.1 | 0.00 | -1.5 |
| 21-42日 | 3.6 | 0.01 | -2.5 | |
| 合計 | 1596 | 61 | -39.9 | |



第4図 降水連続日数別のトレンド。灰色の四角：10%水準で有意。

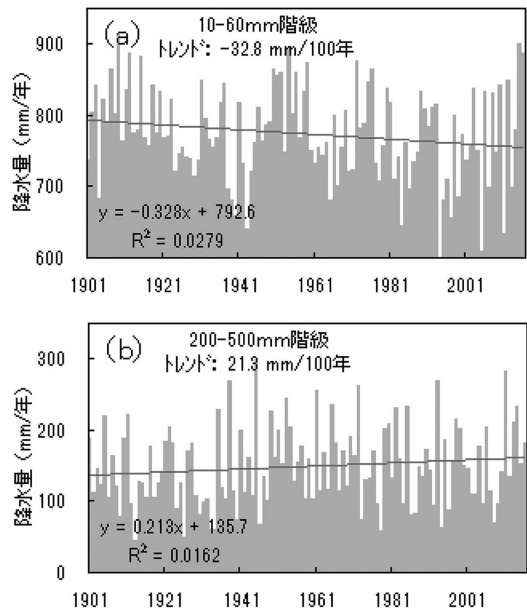
に、第2表に示す。

トレンド $T_{階級}$ を縦軸に、階級を横軸に取ったグラフを第6図に示す。60-200 mm 階級以下の3階級では10-60 mm 階級のトレンド -32.9 mm/100年を最大として全てのトレンドが負値を示す。一方、200-500 mm 階級のトレンドは正值 (21.3 mm/100年) を示し、500-1306 mm 階級では降水量の変化は認められない。

以上、降水連続日数を考慮しない一雨降水量指標の解析から過去116年の変化では、1-10 mm 階級と10-60 mm 階級の降水量が減少している（それぞれ、5%水準で有意と10%水準で有意）ことが示された。一方、200-500 mm 階級の降水量は増加している可能性が示唆され、過去1世紀に強い降水が増え、弱い降水は減る傾向にあるとの報告（藤部 2011）と整合する結果が得られた。

3.4 階級別一雨降水量と降水連続日数の2つの指標を組み合わせた解析による降水長期変化

2.3節の式(2)と他の階級の右辺の $[q_{k,i}]_{階級}$ を



第5図 年総降水量の階級別の経年変化。(a) 10-60 mm 階級：10%水準で有意、(b) 200-500 mm 階級：10%水準の有意性なし。

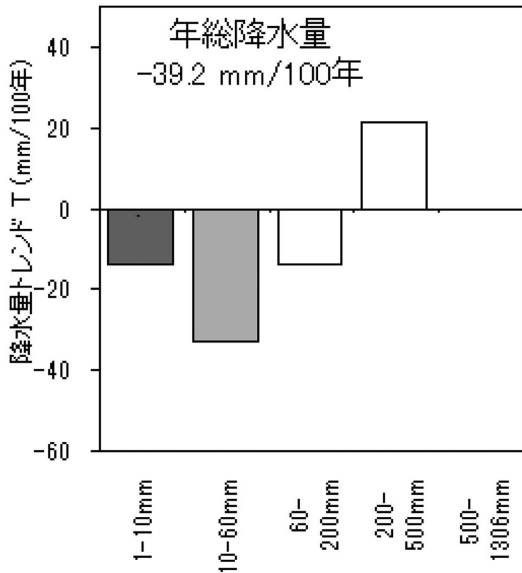
用いて計算した、階級別年降水量の連続日数別値 Q_k とトレンド T_k の値 ($k=1\sim 42$, 但し、17日から42日連続日数は1行にまとめた) を、第3表の各階級の5行目以下に示す。第3表は、17行5列の2次元マトリックス ($17 \times 5 = 85$ 要素) になっていて、右端の5列の合計値は第1表に、下端の17行の合計値は第2表に対応する。逆に、2つの指標を組み合わせた解析によって、第1表と第2表が2次元マトリックスの85要

第2表 階級別の年降水量・一雨降水回数・平均一雨降水量・トレンド。括弧中にはトレンドを比率で示した(単位：%/100年)。背景が濃い灰色のトレンド値は5%水準で有意を、灰色のトレンド値は10%水準で有意を示す。

| 観測期間 | | 1901-2016 | | | | |
|-------|-----------|-----------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------|
| | | 降水量 Q_r mm | 一雨降水回数 n_r 回/年 | 平均一雨降水量 Q_s mm/回 | トレンド T mm/100年 | |
| 年総降水量 | 1-1306 mm | 1596 | 61.2 | 26.1 | -39.9 (-2.5) | |
| 降水量階級 | 少降水 | 1-10 mm | 109 | 25.1 | 4.3 | -13.5 (-12.3) |
| | 中降水 | 10-60 mm | 774 | 29.9 | 25.9 | -32.9 (-4.2) |
| | | 60-200 mm | 547 | 5.7 | 96.6 | -14.8 (-2.7) |
| | 多降水 | 200-500 mm | 148 | 0.5 | 273.4 | 21.3 (14.4) |
| | | 500-1306 mm | 18 | 0.03 | 625.4 | -0.2 (-0.8) |
| 合計 | 1-1306 mm | 1596 | 61.2 | - | -39.9 (-2.5) | |

素に分かれたと見なせる。

第3表のトレンド T_k から、1-10 mm 階級の短期



第6図 一雨降水量階級別のトレンド。濃い灰色の四角：5%水準で有意，灰色の四角：10%水準で有意。

(1-3日連続)の降水量は減少するが、60-200 mm 階級では短期(1-3日連続)降水量が増加する一方、4日以上長期降水量は減少するという降水継続期間によるトレンドの反転が見られる。有意水準5%のトレンドは、第3表に灰色で示した9成分(9要素)である。

第4図において、1-2日連続日数の降水量が増加を示した理由を第3表から考察した。降水連続日数が2日以下の降水では、1-10 mmの階級では有意な減少傾向を示すが、60-200 mm階級では逆に有意な増加傾向を示す。さらに、総降水量への寄与が最も大きい10-60 mm階級では有意な経年変化は見られない。そのため、階級を考慮しない第4図において、1-2日連続の降水については、降水量の経年変化に有意な傾向は認められないことになると考えられる。同様に、第4図の5日から10日連続降水のトレンドが負値を示す理由は、10-200 mm階級の同じ連続日数のトレンドの負値が200-1306 mm階級のトレンドの正値を上回ることが主に寄与しているためと考えられる。

これらの考察を踏まえて、第3表の一雨降水量階級について、連続日数の2日と3日の間で区分した2種類の連続日数の組み合わせ(1-2日連続日数と3-13

第3表 各階級の年降水量の連続日数別降水量とトレンド。背景が濃い灰色のトレンド値は5%水準で有意を示す。

| 階級区分 | 少降水 | | 中降水 | | | | 多降水 | | | | 少降水から多降水8階級合計 | | |
|--------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------|-------|
| | 降水量 $Q_{1,i}$ mm | トレンド $T_{1,i}$ mm/100年 | 降水量 $Q_{2,i}$ mm | トレンド $T_{2,i}$ mm/100年 | 降水量 $Q_{3,i}$ mm | トレンド $T_{3,i}$ mm/100年 | 降水量 $Q_{4,i}$ mm | トレンド $T_{4,i}$ mm/100年 | 降水量 $Q_{5,i}$ mm | トレンド $T_{5,i}$ mm/100年 | 降水量 Q_i mm | トレンド T_i mm/100年 | |
| 年総降水量 | 109 | -13.5 | 774 | -32.9 | 547 | -14.8 | 148 | 21.3 | 18 | -0.1 | 1596 | -39.9 | |
| 降水連続日数 | 1日 | 76 | -9.0 | 210 | 9.8 | 31 | 9.4 | 1 | 0.8 | 0 | 0.0 | 317 | 11.0 |
| | 2日 | 29 | -3.9 | 312 | -16.1 | 128 | 25.3 | 9 | 8.9 | 0 | 0.3 | 478 | 14.5 |
| | 3日 | 4 | -0.6 | 138 | -10.1 | 119 | 5.6 | 18 | 3.8 | 0 | -1.2 | 280 | -2.4 |
| | 4日 | 1 | 0.1 | 65 | -5.9 | 88 | -4.0 | 17 | 6.3 | 1 | -0.2 | 172 | -3.8 |
| | 5日 | 0 | 0.0 | 27 | -6.2 | 64 | -13.3 | 21 | 1.7 | 1 | -1.7 | 113 | -19.4 |
| | 6日 | 0 | 0.0 | 12 | -2.7 | 42 | -10.9 | 18 | 10.5 | 2 | 3.0 | 74 | -0.1 |
| | 7日 | 0 | 0.0 | 5 | -0.8 | 28 | -8.3 | 16 | -0.1 | 2 | -0.2 | 50 | -9.4 |
| | 8日 | 0 | | 2 | -0.4 | 17 | -4.6 | 12 | 3.0 | 2 | 2.2 | 34 | 0.2 |
| | 9日 | 0 | | 1 | -0.3 | 11 | -5.0 | 9 | -1.4 | 1 | 2.5 | 22 | -4.3 |
| | 10日 | 0 | | 1 | -0.4 | 7 | -3.9 | 7 | -0.8 | 1 | -1.6 | 16 | -6.8 |
| | 11日 | 0 | | 0 | 0.3 | 4 | -0.3 | 5 | -1.3 | 1 | -0.8 | 10 | -2.1 |
| | 12日 | 0 | | 0 | 0.1 | 3 | -1.2 | 3 | -2.4 | 1 | -0.1 | 7 | -3.6 |
| | 13日 | 0 | | 0 | 0.0 | 2 | -1.4 | 3 | -0.8 | 1 | 0.2 | 5 | -2.0 |
| | 14日 | 0 | | 0 | 0.0 | 1 | -1.8 | 2 | -0.2 | 0 | -0.7 | 3 | -2.7 |
| | 15日 | 0 | | 0 | -0.1 | 1 | 0.7 | 1 | -1.3 | 0 | -0.8 | 2 | -1.4 |
| | 16日 | 0 | | 0 | -0.1 | 1 | -0.5 | 1 | -2.0 | 1 | 1.1 | 3 | -1.4 |
| | 17-42日 | 0 | | 0 | 0.0 | 2 | -0.6 | 5 | -3.4 | 2 | -2.2 | 9 | -6.1 |
| 合計 | 109 | -13.5 | 774 | -32.9 | 547 | -14.8 | 148 | 21.3 | 18 | -0.1 | 1596 | -39.9 | |

第4表 降水連続日数2日と3日の間で区分して連続日数の組み合わせの降水量とトレンド。背景が濃い灰色のトレンド値は5%水準で有意を示す。

| 階級区分 | 少降水 | | 中降水 | | | | 多降水 | | |
|--------|------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|------|
| | 1-10 mm | | 10-60 mm | | 60-200 mm | | 200-500 mm | | |
| | 降水量 $Q_{1,i}$ mm | トレンド* $T_{1,i}$ mm/100年 | 降水量 $Q_{2,i}$ mm | トレンド* $T_{2,i}$ mm/100年 | 降水量 $Q_{3,i}$ mm | トレンド* $T_{3,i}$ mm/100年 | 降水量 $Q_{4,i}$ mm | トレンド* $T_{4,i}$ mm/100年 | |
| 年総降水量 | 109 | -13.5 | 774 | -32.9 | 547 | -14.8 | 148 | 21.3 | |
| 降水連続日数 | 1日 | 104 | 522 | -6.3 | 158 | 34.7 | 1 | 0.8 | |
| | 2日 | | | | | | 9 | 8.9 | |
| | 3日 | | | | | | 18 | 3.8 | |
| | 4日 | | | | | | 17 | 6.3 | |
| | 5日 | | | | | | 21 | 1.7 | |
| | 6日 | | | | | | 18 | 10.5 | |
| | 7日 | | | | | | 16 | -0.1 | |
| | 8日 | 4.7 | -0.6 | 252.0 | -26.5 | 385 | -47.5 | 12 | 3.0 |
| | 9日 | | | | | | 9 | -1.4 | |
| | 10日 | | | | | | 7 | -0.8 | |
| | 11日 | | | | | | 5 | -1.3 | |
| | 12日 | | | | | | 3 | -2.4 | |
| | 13日 | | | | | | 3 | -0.8 | |
| | 14-42日 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | -0.1 | 4 | -2.0 | 9 | -6.8 |
| 合計 | 109 | -13.5 | 774 | -32.9 | 547 | -14.8 | 148 | 21.3 | |

日連続日数)のトレンドを計算した結果を第4表に示す。その結果、5%水準で有意を示す一雨降水量階級と降水連続日数の組み合わせが6組(第3表の単独2つを含む28要素)得られ、統計的に有意な経年変化を示す降水が10-60 mm階級の3-13日連続日数から60-200 mm階級の1-13日連続日数まで及んでいることがわかった。6組の年降水量の経年変化を第7図に示す。

以上の結果から、階級別一雨降水量と降水連続日数の2つの指標を組み合わせた解析が降水特性の長期変化について統計的に有意な結果(5%水準)を検出する有効な方法であることが示された。

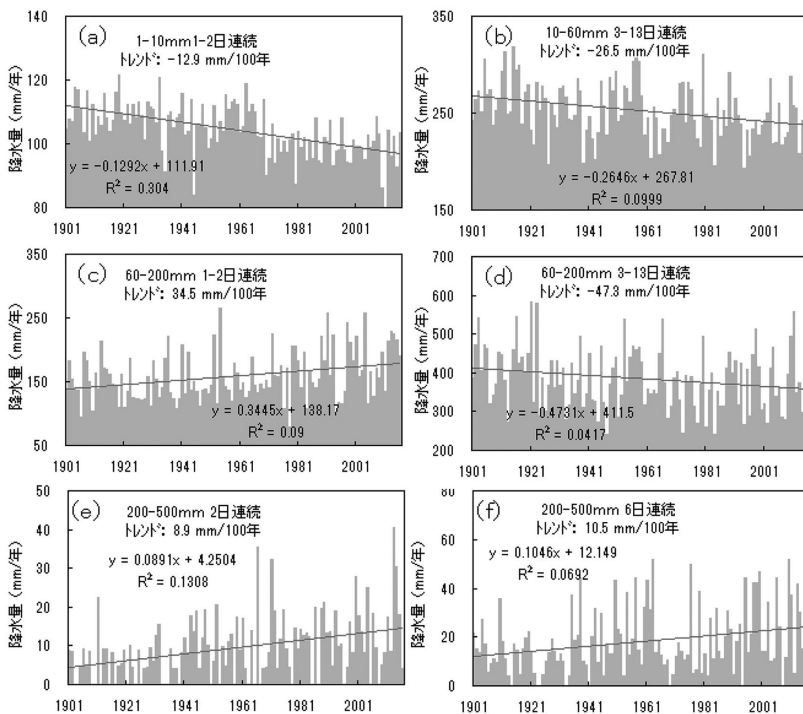
3.5 日降水量の季節変化から見た長期変化

明治時代から今日までの解析期間の前半と後半で、日降水量の季節変化にどのような違いがあるかを調べることは降水特性の長期変化を理解するうえで重要である。そこで、1901年から2016年までの116年間における日降水量の季節変化について検討した。

3.5.1 階級別日降水量の季節変化

最初に、階級別一雨降水量と日降水量の季節変化との関係を調べた。

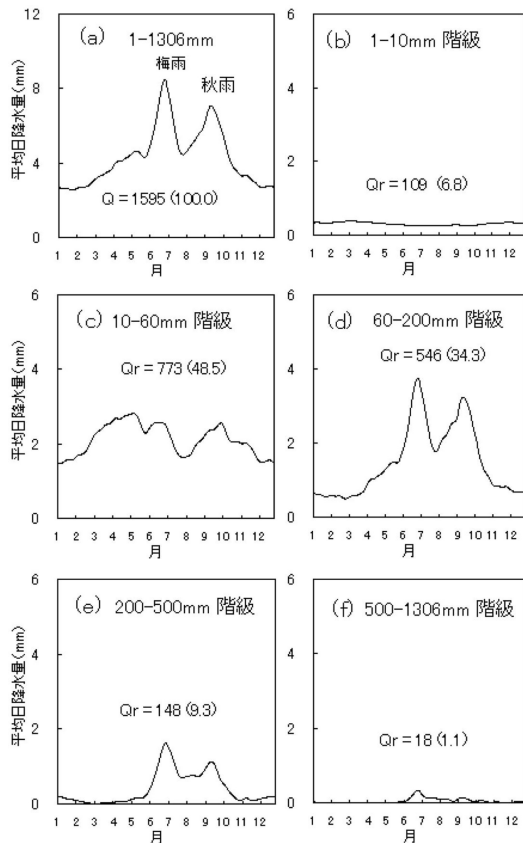
2.4節の方法で計算した51観測地点平均の116年平均([D_i]_{階級}: $i = 1 \sim$



第7図 連続日数結合後の階級別連続日数別の降水経年変化。(a) 1-10 mm階級1-2日連続、(b) 10-60 mm階級3-13日連続、(c) 60-200 mm階級1-2日連続、(d) 60-200 mm階級3-13日連続、(e) 200-500 mm階級2日連続、(f) 200-500 mm階級6日連続、どれも5%水準で有意。

365) を第 8 図に示す。図は、第 8 図 a の 1-1306 mm 範囲の日降水量グラフが、第 8 図 b から f の各階級グラフに分かれたことを示している。第 8 図 b の 1-10 mm 階級では 0.2 mm 以下のごく小さな季節変化が見られる。つぎの、10-60 mm 階級 (第 8 図 c) になると、日降水量に大きな季節変化が現れ年降水量も多くなる。さらに、第 8 図 d の 60-200 mm 階級グラフ上には 7 月と 9 月を中心に日降水量の 2 つの極大が見られる季節変化がみられる。梅雨と秋雨 (台風も含む) に対応した降水が現れたと考えられる。さらに、200-500 mm 階級では、梅雨から秋雨の期間以外の降水は極端に少なくなっていることが示された (第 8 図 e)。

以上から、日本の梅雨と秋雨は、一雨降水量 60 mm



第 8 図 階級別平均日降水量の季節変化。(a) 1-1306 mm (年総降水量), (b) 1-10 mm 階級, (c) 10-60 mm 階級, (d) 60-200 mm 階級, (e) 200-500 mm 階級, (f) 500-1306 mm 階級。Q: 階級別降水量 mm/年, 括弧中の数値は年総降水量に対する割合 (%) を示す。

以上の範囲の降水に顕著に認められることが明らかになった。

3.5.2 明治・昭和期と昭和・平成期の日降水量の季節変化の違い

2.4節の方法で求めた 51 観測地点の平均階級別連続日数別日降水量を使って、観測期間の前半 (1901-1958 年) と後半 (1959-2016 年) の日降水量の季節変化の違いを検討した。

第 4 表の 5% 水準で有意な 6 組について、第 9 図では観測期間の前半と後半の日降水量を重ねて示している。前半と後半で日降水量に大きな違いはないので、差を見やすくするため図の上部に日降水量の差 (= 後半-前半) も示した。第 9 図 a の 1-10 mm 階級 1-2 日連続降水 ($\Delta Q = -3$ mm) の前半と後半の形が 1 年を通じて殆ど重なっており両者に違いは認められない。次の 10-60 mm 階級 3-13 日連続降水 ($\Delta Q = -17$ mm) の第 9 図 b では日降水量の前半と後半の値が 8 月から 10 月の期間で少し違っている。更に、60-200 mm 階級では、1-2 日連続降水が $\Delta Q = 18$ mm の増加、3-13 日連続降水が $\Delta Q = -32$ mm の減少と ΔQ の変化が逆である。この 2 つのケースの日降水量差は、前者の梅雨と秋雨ピークが極小 (第 9 図 c) を示し、後者の梅雨と 11 月頃のピークが極大 (第 9 図 d) を示しており、 ΔQ の正負の違いが日降水量差に反映されている。さらに、200-500 mm 階級の日降水量差は、2 日連続降水の 6 月から 10 月までの幅広い山 (第 9 図 e) と 6 日連続降水の梅雨・秋雨の鋭いピーク (第 9 図 f) として認められる。

4. 結論

降水連続日数と一雨降水量の 2 指標の組み合わせ解析 (第 4 表) から、日本の過去 116 年の降水量トレンド (51 観測地点平均) について以下の結果を得た。

- ① 少降水 1-10 mm 階級の 1-3 日連続日数の降水量は、 -13.5 mm/100 年 ($-12.4\%/100$ 年) の割合で減少している (5% 水準で有意)。一方、多降水 200-500 mm 階級 2 日連続と 6 日連続の降水量は、それぞれ、 8.9 mm/100 年 ($94.2\%/100$ 年) と 10.5 mm/100 年 ($57.3\%/100$ 年) の割合で増加している (5% 水準で有意) ことが明らかになった。これらの結果は、過去 1 世紀に強い降水が増え、弱い降水は減る傾向にあるとの報告を支持する。
- ② 中間の 60-200 mm 階級の降水では、1-2 日連続日数の降水量は、 34.7 mm/100 年 ($21.9\%/100$ 年)

の割合で増加する一方、4-13日連続日数の降水量は、 $-52.9 \text{ mm}/100$ 年 ($-20.0\%/100$ 年)の割合で減少する(5%水準で有意)ことが明らかになった。この結果は、降水量の範囲が同じであっても降水連続日数(降水継続時間)が異なれば、トレンドの符号が逆転することを示している。

5. おわりに

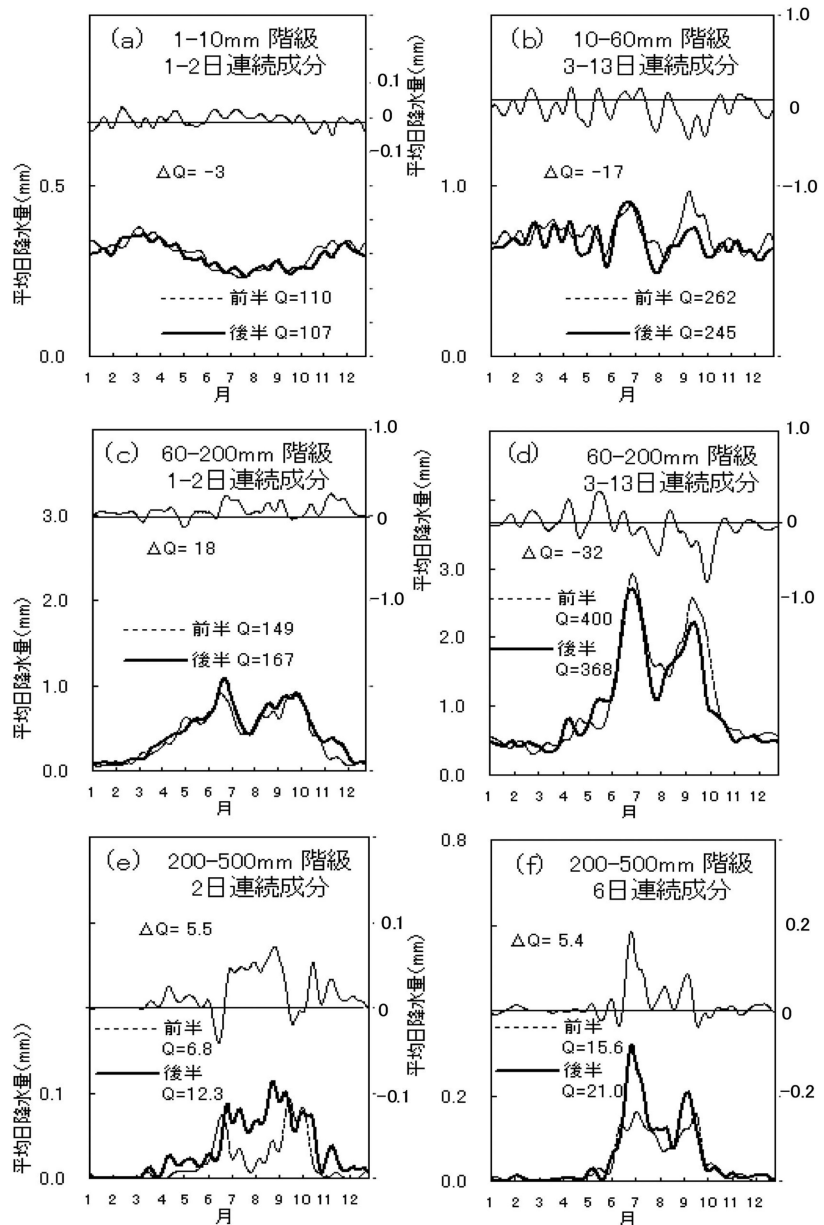
降水連続日数と一雨降水量の2指標を組み合わせた解析によって、降水継続日数が1-2日であっても一雨降水量の階級によってトレンドの符号が異なる可能性が、また、一雨降水量が多降水60-200mmの階級であっても降水継続日数によってはトレンドの符号が異なる可能性が示唆された。しかし、一雨降水量の階級区分には任意性があるため、真に統計的有意性のあるトレンドを抽出できているかさらに検討の予定である。

本研究に用いた51観測点は北日本や日本海側地域にはあまり多く存在せず、西日本の、しかも太平洋側の特徴を強く反映する。このような地域性については、今後検討する予定である。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、編集委員の藤部文昭氏と査読者の方には、本稿の改訂に適切なお指摘・コメントとご助言を頂きました。各位に対して心より御礼

申し上げます。



第9図 観測前半と後半の日降水量の重ねグラフ。(a) 1-0mm階級1-2日連続、(b) 10-60mm階級3-13日連続、(c) 60-200mm階級1-2日連続、(d) 60-200mm階級3-13日連続、(e) 200-500mm階級2日連続、(f) 200-500mm階級6日連続。Q: 観測期間(56年)当たりの降水量mm, $\Delta Q = Q_{\text{前半}} - Q_{\text{後半}}$ 。

参 考 文 献

- Fujibe, F., 2008: Long-Term changes in precipitation in Japan. *J. Disaster Res.*, **3**, 51-60.
- 藤部文昭, 2011: 日本の気候の長期変動と都市化. *天気*, **58**, 5-18.
- 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.
- Fujibe, F., N. Yamazaki and K. Kobayashi, 2006a: Long-term changes in the diurnal precipitation cycles in Japan for 106 years (1898-2003). *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 311-317.
- Fujibe, F., N. Yamazaki and K. Kobayashi, 2006b: Long-term changes of heavy precipitation and dry weather in Japan (1901-2004). *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 1033-1046.
- Iwasaki, H. and Y. Sunaga, 2009: Study of recent variation in weak rainfall over Japan using 31-year AMeDAS dataset. *SOLA*, **5**, 157-159.
- Kamiguchi, K., A. Kitoh, T. Uchiyama, R. Mizuta and A. Noda, 2006: Changes in precipitation-based extremes indices due to global warming projected by a global 20-km-mesh atmospheric model. *SOLA*, **2**, 64-67.
- Kamiguchi, K., O. Arakawa and A. Kitoh, 2011: Long-term changes in Japanese extreme precipitation analyzed with APHRO_JP_EX. *Glob. Environ. Res.*, **15**, 91-100.
- 気象庁, 2000: 天気予報等で用いる用語(雨の強さと降り方) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/amehyo.html (2016.3.15閲覧).
- 気象庁, 2005: 気象観測統計の解説(ひと雨のとり方). 122-125. http://data.sokki.jmbc.or.jp/cdrom/monthly_report_jma/documents/shishin/shishin_all.pdf.
- 気象庁, 2014: 災害時気象速報(平成26年8月豪雨). http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201404.pdf (2017.9.28閲覧).
- 気象庁, 2015: 異常気象レポート2014(異常気象・極端現象の長期変化傾向). 109-110. http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/.
- 気象庁, 2016: 気候変動監視レポート 2015. 28-30. <http://www.jma.go.jp/jma/press/1608/22a/ccmr2015.html> (2017.2.19閲覧).
- 気象庁, 2017: 日本の年平均降水量偏差. http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/list/an_jpn_r.html (2017.2.19閲覧).
- 草薙 浩, 2016: 日本と英国における降水の連続日数からみた季節変化の気候学的評価. *天気*, **63**, 811-817.
- 草薙 浩, 2017: 日本と英国における階級別一雨降水量と降水連続日数からみた季節変化の気候学的評価. *天気*, **64**, 235-242.
- 楠 昌司, 2012: 超高解像度大気モデルによる気候変動予測の不確実性の定量化と低減に関する研究. 21世紀気候変動予測革新プログラム平成23年度研究成果報告会要旨集(文部科学省研究開発局), 91.
- 文部科学省, 気象庁, 環境省, 2013: 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」(2012年度版), 12-14.
- Oguchi, S. and F. Fujibe, 2011: Seasonal and regional features of long-term precipitation changes in Japan. *Pap. Meteor. Geophys.* **63**, 21-30.
- 杉田卓也, 大河内康正, 2012: 近年の日本の平均降水量の経年変化. 熊本高等専門学校研究紀要, (4), 41-48.
- 田中茂信, 2015: 我が国における降水量の長期変化と極端降水量の増加. 京都大学防災研究所年報, 58B, 417-423.
- 瓜田真司, 松山 洋, 2012: 日本における大雨の出現頻度とその分布に関する研究. 日本気象学会2012年度春季大会予稿集, (101), 229.

Long-Term Changes of Event-wise Precipitation Amount and Consecutive Precipitation Days in Japan

Hiroshi KUSANAGI*

* *Kyoto Weather Research Group, 131-16 Okamedani-Manjojiki, Fukakusa, Fushimi, Kyoto, 612-0846, Japan.*

E-mail: wrqgw841@yahoo.co.jp

(Received 2 March 2017; Accepted 30 September 2017)