

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

草 薙 浩*

1. はじめに

草薙 (2018 ; 以下「前報」) は、降水連続日数と降水継続期間の総降水量 (以下、一雨降水量という) の 2 つの指標を組み合わせた解析を行った。その結果、1901年から2016年の116年間で、60-200 mm 階級の 1-2 日連続降水は34.7 mm/100年の割合で増加する一方、3-13日連続降水は-47.5 mm/100年減少したことが見出され (それぞれ5%水準で有意)、同じ降水階級に関して時間スケールによる違いが明らかになった (第1表)。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検討の余地がある。

そこで、本調査ノートでは、一雨降水量の階級区分に、任意性を排除した規則的な区分方法 (草薙 2017) を用いて日本の降水特性の長期変化を調べた。

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、前報と同じ、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) とし、解析期間は1901年から2016年までの42369日 ($Q_i : i = 1 \sim 42369$) とした。

2.2 規則的区分法による階級別連続日数別の累年平均値 ($f_{m,k}$) とトレンド ($t_{m,k}$) の算出方法

各観測地点の日降水量時系列データ ($Q_i : i = 1 \sim 42369$) 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, $i = 1 \sim 42369$) に分解した。この $[q_{m,k}]_i$ 時系列の i について365日 (平年) と366日

(閏年) ある暦日ごとに平均して1年間の値を求めると観測期間116年の階級別連続日数別の年降水量の累年値が得られる。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値 ($q_{m,k}$) が求まる。この累年値に1次回帰を適用し、116年間の累年平均値 ($f_{m,k}$, 単位 : mm) とトレンド ($t_{m,k}$, 単位 : mm/100年) を計算した。

本調査ノートで扱う一雨降水量は1 mm から1306 mm (高知観測地点) の範囲に及ぶので、一雨降水量の階級を、1 mm から、 2^2 mm, ..., m^2 mm, ..., 36^2 mm, $37^2 (=1369)$ mm の間隔で1 mm から1369 mm まで37階級に区分した。それゆえ、一雨降水量の範囲は、 $m = 1$ のとき1 mm 以上4 ($= 2^2$) mm 未満, $m = 2$ のとき4 mm 以上9 ($= 3^2$) mm 未満, ..., $m = 37$ のとき1296 mm 以上1369 ($= 37^2$) mm 未満となり、 m 番目の階級の1雨降水量範囲 d_m (mm) は式 (1) で表される規則に従って大きくなる。

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

51地点平均の年降水量の累年平均値 F (mm) とトレンド T (mm/100年) は $f_{m,k}$ と $t_{m,k}$ について、一雨降水量軸 ($m = 1 \sim 37$) と連続日数軸 ($k = 1 \sim 42$)

第1表 一雨降水量階級と降水連続日数別に分けた年降水量トレンド (mm/100年)。背景が灰色のトレンド値は5%水準での有意を示す (草薙 2018を元に作成)。

階級	日数	降水連続日数(日)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
一雨 降 水 量 (mm)	1-10	-12.9	-0.6											
	10-60	-6.3	-26.5											
	60-200	34.7	-47.5											
	200-500	1	9	4	6	2	10	0	3	-1	-1	-1	-2	-1
500-1306	0	0	-1	0	-2	3	0	2	2	-2	-1	0	0	

* Hiroshi KUSANAGI, 京都ウェザー研究会。

© 2018 日本気象学会

を加え合わせた式 (2) と (3) で表せる。

$$F = \sum_{m=1}^{37} \sum_{k=1}^{42} f_{m,k} \quad (2)$$

$$T = \sum_{m=1}^{37} \sum_{k=1}^{42} t_{m,k} \quad (3)$$

3. 降水連続日数と一雨降水量の細分階級図から見た降水長期変化

3.1 累年平均値とトレンドの細分階級図

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経年変化 ($q_{m,k}$) の一部を第1図に示す。図には、回帰直線とそれに対応するトレンドも示す。全体として、累年平均値 $f_{m,k}$ とトレンド $t_{m,k}$ は、2次元マトリックス ($37 \times 42 = 1554$ 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、 $f_{m,k}$ と $t_{m,k}$ 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 (以下、2次元分布図と名付ける) にして第2図に示す。

累年平均値の2次元分布を示す第2図aは、11段階の色目盛りで塗り分けて表示した (最大値は $f_{5,2}$ の81.8 mm)。降水連続日数 (横軸) は2日付近、一雨降水量 (縦軸) は16 (= 4^2) mm 付近の $f_{m,k}$ が最も大きな値を示し、右上方向に分布が広がっている。日本では、一雨降水量16 mm 以上25 mm 未満、連続日

数2日の降水の頻度が最も高く、また、長期降水になるほど一雨降水量が大きくなるという妥当な結果になっている。

一方、トレンド $t_{m,k}$ は、 $t_{4,2}$ の最小値 -7.0 mm/100年から最大値 7.7 mm/100年を含む範囲を2 mm/100年の間隔で9段階の色目盛りで塗り分けて第2図bに示した。トレンドの2次元分布図は、第2図aの累年平均値と同様に右上方向に分布が広がっている。しかし、第2図bのトレンドの2次元図は、原点付近から正值と負値の境界に沿う斜め上方に向かう直線によって分布がほぼ2つの領域に分けられているように見ることができる。この直線の左上側がトレンド正值を示す領域であり、右下側がトレンド負値を示す領域である。それゆえ、同じ縦軸の位置で区切った横軸 (時間軸) を見ると短期降水のトレンドが正值を、長期降水のトレンドが負値を示すと解釈できる。

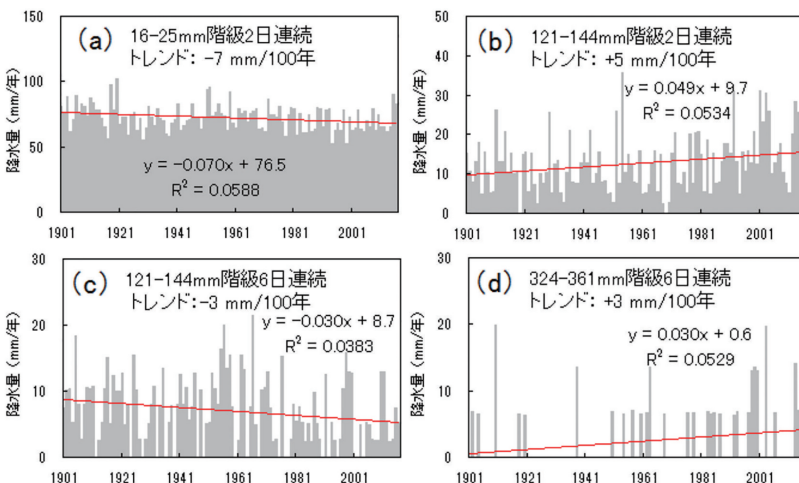
前報で、同じ一雨降水階級に関して短期降水のトレンドが正值を、長期降水のトレンドが負値をとり、時間スケールによる違いが見出された。第2図bは、これと定性的に符合する結果になっている。そこで次節では、トレンドについて統計的に有意な結果が得られるかを調べた。

3.2 トレンドの2次元分布図の2領域分割

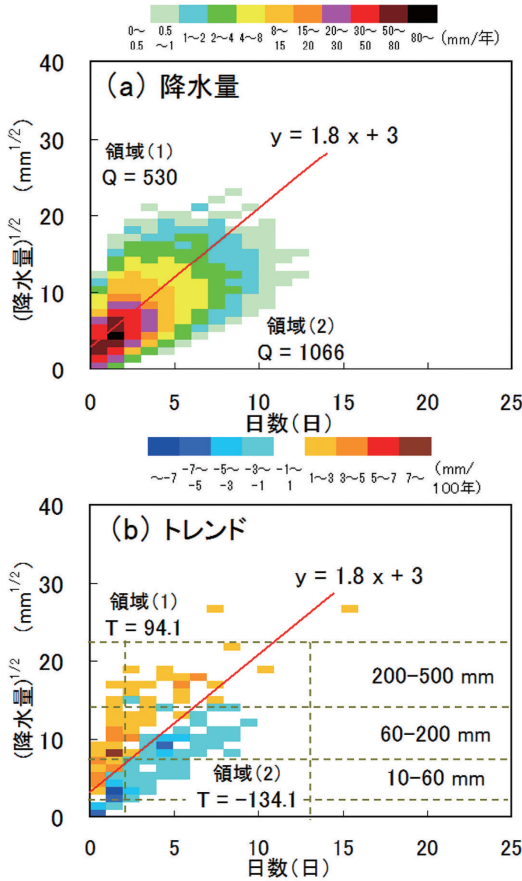
第2図bのトレンドの2次元図は、トレンドが正值を示す部分と負値を示す部分が交じり合わずに2領域にほぼ分かれて分布している。従って、その境界に沿う直線によって2領域に分けるのが最も合理的と考えられる。

この判断に基づいて、第2図bの日数軸 (横軸) と降水量軸 (縦軸) を、それぞれ、 x 軸と y 軸に取った2次元図において、直線式: $y = ax + b$ を仮定して、分布を2つの領域に分けることを試みた。勾配 a と定数 b を決める手続きを以下のステップで行った。

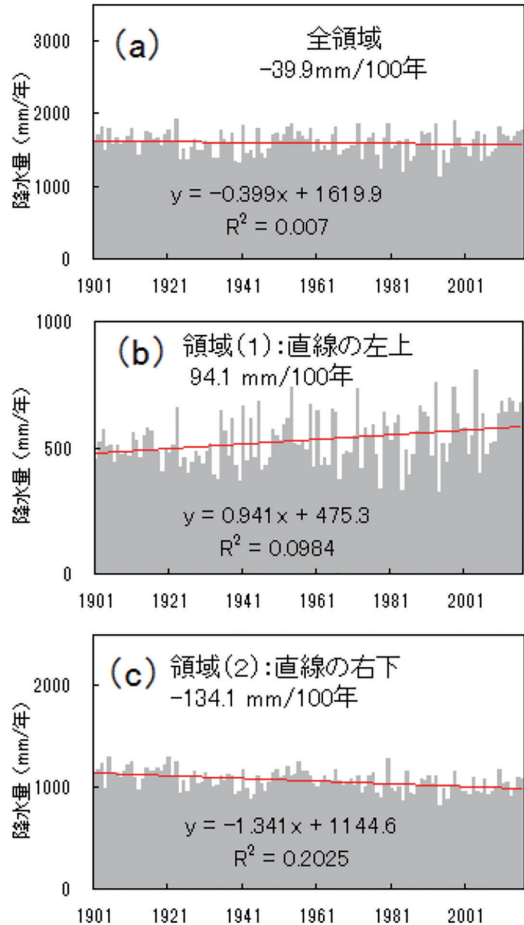
ステップ1: 目視で設定した初期値の a と b を用いた直線で分割した領域 (1) と領域 (2) について、それぞれの領域に含ま



第1図 階級別連続日数別の年降水量 ($q_{m,k}$) の経年変化。(a) $q_{4,2}$, (b) $q_{11,2}$, (c) $q_{11,6}$, (d) $q_{18,6}$ 。



第2図 降水量の累年平均値とトレンドの2次元分布図（縦軸：一雨降水量，横軸：降水連続日数）。(a) 累年平均値，(b) トレンド，但し，2領域分割の直線を赤線で，第1表の一雨降水量の階級区分を破線で示す。



第3図 降水量の経年変化。(a) 年降水量：2次元分布の全領域，(b) 領域(1)： $y=1.8x+3.0$ の直線の左上側領域，(c) 領域(2)： $y=1.8x+3.0$ の直線の右下側領域。

れる年降水量 ($q_{m,k}$) の合計値の経年変化グラフ (第3図bとcに対応) を描き，それぞれの経年変化に一次回帰を行って回帰直線の決定係数 (R^2) を求める。

ステップ2：次に，aとbを少し変化させた直線で分割した領域(1)と領域(2)について，それぞれの領域に含まれる $q_{m,k}$ の合計値の経年変化グラフを描き，回帰直線の決定係数を求める。この決定係数が，aとbを変化させる前の決定係数より大きければ，変化させた後のaとbに置き換えてステップ2を繰り返す。

回帰直線の2つの決定係数の最も大きくなる値が得

られるまで，ステップ2を繰り返して，最終的に得られた直線式： $y=1.8x+3.0$ による累年平均値分布とトレンド分布の2領域分割の様子を第2図aとbに赤線で示す。第2図bのトレンド分布図では，直線が領域(1) (直線の左上領域)と領域(2) (直線の右下領域)の境界に沿って引かれていることが分かる。

最終的に得られた領域(1)と領域(2)の経年変化グラフを第3図bとcに示す。領域(1)と領域(2)の決定係数 (R^2) は $R^2=0.0984$ と $R^2=0.2025$ で，第3図aの分割しない全領域の決定係数 $R^2=0.0070$ と比較して大きな値になっている。

第2表 2次元分布を直線分割後の2領域の年降水量の累年平均値とトレンド。背景が灰色のトレンド値は5%水準で有意を示す。

	降水量の累年平均値	トレンド*	決定係数
	(mm/年)	(mm/100年)	(-)
全領域	1596	-39.9	0.0070
領域(1)	530	94.1	0.0984
領域(2)	1066	-134.1	0.2025

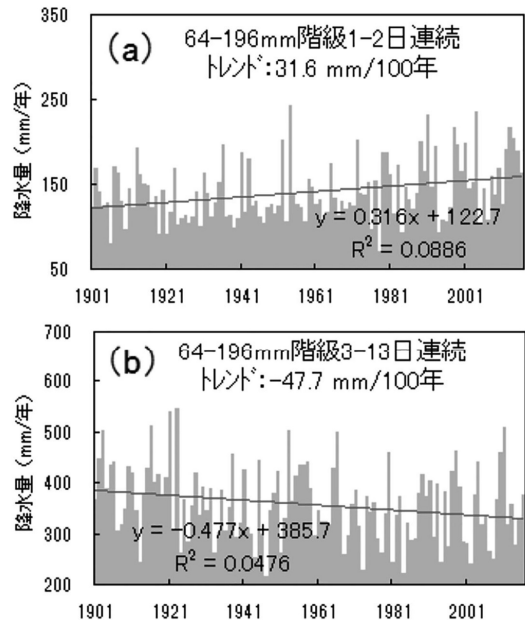
領域(1)と領域(2)のトレンドは回帰直線から94.1 mm/100年と-134.1 mm/100年と計算され、いずれも5%水準で有意であった。相反する符号をもつ統計的に有意なトレンド94.1 mm/100年と-134.1 mm/100年の経年変化値が相殺した結果、全領域のトレンド-39.9 mm/100年の小さな負の値になった(第2表)。

前報との整合性を調べるため、第1表の一雨降水量の階級区分を破線で第2図bのトレンド分布図に示す。60-200 mm階級の1-2日連続降水の破線領域に含まれるトレンド $t_{m,k}$ は12要素(64-196 mm階級1-2日連続と表す)で、トレンド正値が11要素(トレンド合計31.7 mm/100年: $R^2=0.0906$)、負値が $t_{12,1}$ 成分(-0.1 mm/100年: $R^2=0.005$)の1要素である。トレンド合計31.6 mm/100年は、第4図aとほとんど同じで、前報の34.7 mm/100年(第1表)に対応する値になっている。一方、3-13日連続降水の破線領域に含まれるトレンド $t_{m,k}$ は66要素(64-196 mm階級3-13日連続と表す)で、正値が13要素(トレンド合計12.7 mm/100年: $R^2=0.0264$)、負値が53要素(トレンド合計-60.4 mm/100年: $R^2=0.1206$)であった。トレンド合計の正値と負値が相殺した結果、負値が勝って第4図bの-47.7 mm/100年になり、同じく前報の-47.5 mm/100年と整合性のある値になったと判断できる。

以上の結果から、前報では統計的有意性のあるトレンドを抽出していると判断できた。

4. おわりに

一雨降水量の階級区分に、任意性を排除した規則的な区分方法を用いて降水量のトレンドの2次元分布図を描くことにより、分布を2分する直線の左上側がトレンド正値を示す領域、右下側がトレンド負値を示す



第4図 降水量の経年変化。(a) 64-196 mm階級1-2日連続、(b) 64-196 mm階級3-13日連続。

領域に全体として2つの領域に分かれることが示された。

前報の60-200 mm階級の1-2日連続降水は34.7 mm/100年の割合で増加する一方、3-13日連続降水は-47.5 mm/100年減少(それぞれ5%水準で有意)するという時間スケールによる違いは、階級を細分してトレンドを求めた2次元分布図から統計的に有意な結果であることが確認できた。

謝辞

本調査ノートをまとめるにあたり、編集委員の藤部文昭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

- 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, 2017: 階級別一雨降水量と降水連続日数から見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から見た日本の降水特性の長期変化. 天気, 65, 25-34.