

季節性 Mann-Kendall 検定による東京都の10分・1時間・日・月最大雨量の 年移動トレンドの変動解析

首都大学東京 都市環境学部 学生員 ○田島 健一郎
首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 正会員 河村 明
東京都 土木技術支援・人材育成センター 正会員 高崎 忠勝
首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 正会員 天口 英雄

1. はじめに

東京都の中小河川では、時間 50mm を超える降雨とそれに伴う浸水被害の増加に伴い、目標整備水準を従来の時間 50mm 降雨から、区部では時間 75mm、多摩部では時間 65mm に引き上げたり、新たな目標整備水準では、過去 30 年を超えるデータをもとに計画降雨を設定しているが、近年の豪雨増加を考慮すると降雨特性が変化している可能性がある。著者ら²⁾は 2017 年を起点とした過去 10 年～データ取得開始時までのトレンド検定を行っているが、本報では 2018 年のデータを追加し、さらに東京都の 10 分・1 時間・日・月の最大雨量について、起点となる年を 1 年ずつ移動させながら季節性 Mann-Kendall 検定を行い、都内の 10 アメダス観測所について強降雨量の経年的な変動特性について解析を行った。

2. 使用データおよび解析手法

降水量のトレンド検定は、図-1 に示すように東京都内の島嶼部を除く 10 箇所のアメダスを対象とし、各観測所の月降水量および日・1 時間・10 分間降水量の月最大値データに対して行った。また、対象トレンド長としては 10 年と 30 年の 2 パターンとした。表-1 に観測所毎の対象データの収集期間を示す。これらのデータを対象に、起点となる年を 1 年ずつ移動させながら季節性 Mann-Kendall 検定を行い、都内アメダス 10 観測所における 4 種類の降水時系列に対して 2 パターンのトレンド長で年移動トレンドの変動を解析した。



図-1 東京都におけるアメダス設置地点

季節性 Mann-Kendall 検定は、季節性を考慮してデータの時系列トレンドを判定するノンパラメトリック法であり、水文時系列データのトレンド検定として多用されている²⁾³⁾。本報では各月の 4 種類の降水量データ毎に、以下の帰無仮説 H_0 と対立仮説 H_1 を設定して検定を行った。

帰無仮説 H_0 : n 個の時系列データ $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ が独立で同一の確率分布に従う。

対立仮説 H_1 : n 個の時系列データ $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ が同一の確率分布に従わない。

季節性 Mann-Kendall 検定では、各月 m の統計量 S_m は式 (1) で定義される。ただし、 $l > k$ であり、 n は各月 (1～12 月毎) のデータ数であり対象トレンド長 (本報では $n=10, 30$ の 2 パターン) となる。

季節性を考慮した統計量 S は、各月の統計量 S_m の総和から求められ式 (3) で表される。トレンド長 n が 10 より大きい場合、統計量 S は正規分布となり、式 (4) のように標準化された統計量 Z は標準正規分布 $N(0,1)$ に従う³⁾。ここで、有意水準を α とすると、 $|Z| > Z_{\alpha/2}$ をみたすときに帰無仮説 H_0 が棄却され、トレンドがあるという結論が得られる。す

$$S_m = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{l=k+1}^n \text{sgn}(x_{ml} - x_{mk}) \quad (1)$$

ここに、

$$\text{sgn}(x_{ml} - x_{mk}) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_{ml} - x_{mk} > 0 \\ 0 & \text{if } x_{ml} - x_{mk} = 0 \\ -1 & \text{if } x_{ml} - x_{mk} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$S = \sum_{m=1}^{12} S_m \quad (3)$$

$$Z = \begin{cases} (S - 1)/[\text{VAR}(S)]^{1/2} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ (S + 1)/[\text{VAR}(S)]^{1/2} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 $\text{VAR}(S)$: S の分散

表-1 観測所毎の各データの収集期間

観測所名	10分間降水量 月最大値 (mm/10min)	1時間降水量 月最大値 (mm/hour)	日降水量 月最大値 (mm/day)	月降水量 (mm/month)
小河内	2009年～2018年 (10年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)
小沢	2009年～2018年 (10年)	1978年～2018年 (41年)	1978年～2018年 (41年)	1978年～2018年 (41年)
青梅	2008年～2018年 (11年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)
八王子	2008年～2018年 (11年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)
府中	2008年～2018年 (11年)	1977年～2018年 (42年)	1977年～2018年 (42年)	1977年～2018年 (42年)
練馬	2009年～2018年 (10年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)
世田谷	2009年～2018年 (10年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)
東京	1940年～2018年 (79年)	1921年～2018年 (98年)	1876年～2018年 (143年)	1876年～2018年 (143年)
江戸川臨海	2009年～2018年 (10年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)
羽田	2009年～2018年 (10年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)	1976年～2018年 (43年)

キーワード 季節性 Mann-Kendall 検定, ティレンド, アメダス, ノンパラメトリック法, 時系列変動

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京

E-mail: tajima-kenichiro@ed.tmu.ac.jp

表-3 東京での対象トレンド長 30 年および 10 年の検定結果

トレンド長	年	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949
30 年	10分																																			
	1時間																																			
	1日																																			
10 年	10分																																			
	1時間																																			
	1日																																			
30 年	10分																																			
	1時間																																			
	1日																																			
10 年	10分																																			
	1時間																																			
	1日																																			

▲: 増加トレンド($\alpha=0.01$) ▲: 増加トレンド($\alpha=0.05$) ▼: 減少トレンド($\alpha=0.01$) ▼: 減少トレンド($\alpha=0.05$) -: テンド無し データなし

表-4 八王子での対象トレンド長 30 年および 10 年の検定結果

トレンド長	年	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
30年	10分																																			
	1時間																																			
	1日																																			
10年	10分																																			
	1時間																																			
	1日																																			

▲: 増加トレンド($\alpha=0.01$) ▲: 増加トレンド($\alpha=0.05$) ▼: 減少トレンド($\alpha=0.01$) ▼: 減少トレンド($\alpha=0.05$) -: テンド無し データなし

なわち、 $(1-2\alpha)\%$ の信頼度で、 n 個の時系列データはトレンドがあるという結論が得られる。また、 $S>0$ なら増加トレンドがあることを、 $S<0$ なら減少トレンドがあることを示す。なお、上記の季節性 Mann-Kendall 検定の詳細については参考文献 2),3) を参照されたい。

3. 降水量トレンドの検定結果および考察

表-3 および表-4 にそれぞれ区部と多摩部の代表例として、東京と八王子のトレンド検定結果を示す。有意水準は $\alpha=0.01, \alpha=0.05$ として降水量のトレンド検定を行った。これらの表においては、記載された年を起点として過去 10 年および 30 年のトレンド長に対する検定結果を示している。例えば、表-3 において 2018 年の結果を見ると、トレンド長 10 年（2009 年～2018 年）の月最大 10 分降水時系列に対し、有意水準 5% で減少トレンド（赤い白抜きの下三角）となっている。なお、表-3 の東京における 1914 年以前のトレンドに関しては、1888 年にトレンド長 10 年の月降水量時系列に対し、有意水準 5% で減少トレンドがみられただけであったので、割愛して示している。

表-3 より、東京では対象トレンド長が 30 年の場合、起点が 2007 年から 2016 年にかけて、月最大 10 分および 1 時間降水時系列に対し、有意水準 1% の強い増加トレンドとなっている。特に起点が 2012 年では月最大日降水・月降水時系列に対しても増加トレンドが得られている。一方、対象トレンド長が 10 年の場合、上記の起点年に対するトレンドは見られないので、短期間のトレンドとはなっていないと考えられる。次に表-4 より、八王子においても対象トレンド長が 30 年の場合、起点が 2008 年から 2018 年にかけて、月最大 1 時間降水時系列に対し強い増加トレンドがみられる。なお、対象トレンド長が 10 年の場合は、起点が 2003 から 2004 年にかけて月最大 1 時間降水・日降水および月降水時系列に対し増加トレンドがみられるが、それ以降はトレンドは検出されていない。東京と八王子以外の観測所においても、対象トレンド長が 10 年の場合トレンドはあまりみられなかったが、対象トレンド長が 30 年の場合、ほぼ例外なく 2005 年以降月最大 1 時間雨量は増加傾向となっていた。以上のことから、区部・多摩部に関わらず、近年いずれの観測所においても 30 年という期間でみると月最大 1 時間雨量は増加傾向にあるが、10 年スパントレンドで見ると降雨量の増加傾向は検出されなかった。

4. むすび

本報では、都内アメダス 10 観測所の降水量を対象に、起点年を移動させながら季節性 Mann-Kendall 検定を行い、その経年的なトレンド変動特性について解析を行った。その結果、対象トレンド長が 30 年の場合、起点が 2005 年以降の月最大 1 時間降雨時系列は区部・多摩部を問わず顕著な増加トレンドを示すことが確認された。今後はさらに、降雨強度のみならず強雨の発生頻度にも着目しトレンド検定を行う予定である。

参考文献

- 1) 石原成幸, 高崎忠勝, 河村明, 天口英雄, 東京の中小河川における新たな整備方針とその特徴的な施策の背景, 河川技術論文集第 20 巻, pp.437-442, 2014.
- 2) 細野浩那, 河村明, 高崎忠勝, 天口英雄, Mann-Kendall 検定による東京都の豪雨傾向解析, 第 46 回土木学会関東支部研究発表会講演集, CD-ROM 版 (II-2), 2019.
- 3) Richard, O.G.: Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, pp. 204-240, 1976.